Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2010

Fábio Luís da Cunha Ribas Fernandes

Especificações para a Reabilitação Sustentável de Edifícios

Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2010

Fábio Luís da Cunha Ribas Fernandes

Especificações para a Reabilitação Sustentável de Edifícios

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e da Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

o júri

presidente	Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
arguente	Prof. Doutor Ricardo Mesquita Silva Mateus professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho
vogais	Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
	Prof.ª Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

O presente trabalho é o culminar de um percurso académico de esforço pessoal, mas que não seria possível sem colaboração, directa ou indirecta, de várias pessoas a quem o dedico, com um profundo agradecimento:

Aos professores Victor Ferreira e Fernanda Rodrigues, principais mentores e orientadores deste trabalho, pelos conhecimentos partilhados, disponibilidade e incentivo; ao restante corpo docente e não-docente do Departamento de Engenharia Civil, pelo acolhimento e boas condições de trabalho;

Aos amigos e colegas que tornaram o percurso académico uma partilha de saberes e de experiências inesquecíveis;

À Karina, pelo amor e carinho, pela paciência e apoio incondicional;

À D. Rosa e ao Sr. Pereira, pelo acolhimento e generosidade;

À Sofia e à Leonor, por me fazerem acreditar num futuro risonho;

Aos meus pais e à minha madrinha, por tudo.

palavras-chave reabilitação, soluções construtivas, sustentabilidade

resumo

O presente trabalho insere-se no âmbito da sustentabilidade no sector da construção, com foco em especificações técnicas de materiais e soluções construtivas ao abrigo das preocupações ambientais com que o Mundo se debate, e tendo por base as necessidades de reabilitação do património construído.

Com o objectivo de alcançar edifícios de emissão zero, cimentado pelos cada vez mais exigentes requisitos regulamentares, resultado dos compromissos nacionais e internacionais, pretende-se conjugar técnicas de reabilitação com os eco-materiais, as estratégias bioclimáticas (design passivo) e a integração de tecnologias de energias renováveis.

Estes novos conceitos permitem caminhar no sentido dos edifícios auto-suficientes, que têm intrínsecas preocupações de preservação dos recursos naturais, da diminuição do consumo dos combustíveis fósseis, da menor libertação de gases com efeito de estufa e da diminuição da factura energética associada ao património edificado. Sabendo que o Homem passa grande parte do seu tempo no interior dos edifícios, as questões referidas não poderão ser concebidas, descurando as condições de conforto para os ocupantes (temperatura e qualidade do ar, iluminação natural, …).

No sentido de estudar a viabilidade de soluções de parede exterior em edifícios, na temática da reabilitação sustentável, recorreu-se à metodologia MARS-SC como ferramenta de análise da sustentabilidade ambiental e económica, assim como de parâmetros funcionais exigidos a essas soluções.

keywords *rehabilitation, construction solutions, sustainability*

abstract

The present thesis introduces the sustainability on construction industry, with aim on technical specifications of materials and construction solutions under the environmental concerns worldwide, and based on the rehabilitation needs of buildings.

Seeking to combine ecomaterials on rehabilitation techniques with bioclimatic design strategies and with the integration of renewable energy technologies on buildings, we intend to accomplish a Near-Zero Energy Buildings sustained on tight legal regulation, imposed by national and international commitments.

These new concepts aim to achieve self-sufficient buildings that are conceived considering the preservation of natural resources, the decrease of fossil fuels consumption, the less emition of greenhouse gas released and the decrease of the energy bill associated to building heritage. Is a fact that human occupancy inside buildings is enlarging and those issues couldn't be implemented by neglecting the occupants comfort conditions (temperature and air quality, natural lightning,...)

Concerning sustainable rehabilitation, the main purpose of this essay is to study the feasibility of the external facade solutions of buildings supported on the MARS-SC methodology as a tool to analyse the environmental and economical sustainability, such as functional requirements of those solutions.

ÍNDICE GERAL

Índice Geral ..... **i**

Índice de Figuras ..... **v**

Índice de Tabelas ..... **vii**

Siglas, Abreviaturas e Unidades ..... **ix**

I. Introdução, objectivos e organização **1**

1.1. Enquadramento *1*

1.2. Objecto e objectivos do estudo *2*

1.3. Organização da dissertação *3*

II. Estado da Arte – Enquadramento Geral ..... **- 5 -**

2.1. Desenvolvimento Sustentável ..... *- 5 -*

2.1.1. História e Cronologia do Desenvolvimento Sustentável ..... - 6 -

2.1.2. Desenvolvimento Sustentável em Portugal ..... - 8 -

2.2. Reabilitação do Edificado Urbano ..... *- 9 -*

2.3. Materiais e Tecnologias Construtivas ..... *- 11 -*

2.3.1. Energia e Impacto Ecológico Incorporado no Material ..... - 12 -

2.3.2. Potencial de Reutilização e Reciclagem ..... - 13 -

2.3.3. Toxicidade dos Materiais e a Qualidade do ar interior ..... - 14 -

2.3.4. Evolução das Soluções Construtivas ..... - 15 -

2.3.5. Sistemas de Certificação Ambiental do Edificado Sustentável ..... - 17 -

2.3.5.1. Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade – MARS-SC ..... - 20 -

2.4. Concepção e Concurso de Projectos Verdes ..... *- 21 -*

III. Eficiência Energética e Hídrica ..... **- 25 -**

3.1. Introdução ..... *- 25 -*

3.2. Enquadramento Legal ..... *- 27 -*

3.3. Conceitos Bioclimáticos e de Design Passivo ..... *- 31 -*

3.4. Tecnologias de Energia Renovável ..... *- 33 -*

3.4.1. Energia Solar Fotovoltaica ..... - 34 -

3.4.2. Energia Solar Térmica ..... - 35 -

3.4.3. Energia Eólica ..... - 36 -

3.4.4. Energia Geotérmica ..... - 38 -

3.4.5. Energia da Biomassa ..... - 39 -

3.4.6. Utilização Racional de Energia ..... - 40 -

3.4.6.1. Microgeração em Portugal ..... - 42 -

3.5. Edifícios de Emissão Zero ..... *- 43 -*

3.6. Uso Sustentável da Água - 46 -
3.6.1. Recolha e Armazenamento de Águas Pluviais e Residuais - 47 -

IV. Especificações Técnicas e Soluções Construtivas - 49 -

4.1. Enquadramento - 49 -

4.2. Materiais - 50 -
4.2.1. Enquadramento legal e Rotulagem ambiental - 50 -
4.2.1.1. Declarações ambientais do Tipo I – Rótulos Ambientais - 50 -
4.2.1.2. Declarações Ambientais do Tipo II – Auto-Declarações - 52 -
4.2.1.3. Declarações Ambientais do Tipo III – EPDs - 53 -
4.2.1.4. Gestão Sustentável Florestal - 53 -
4.2.2. Betão - 54 -
4.2.3. Substitutos do Cimento - 55 -
4.2.3.1. Ground Granulated Blastfurnace Slag (GGBS) - 55 -
4.2.3.2. Fly Ash - 56 -
4.2.3.3. Cal - 56 -
4.2.4. Isolamentos Térmicos e Acústicos - 57 -
4.2.4.1. Isolantes Naturais vs. Isolantes Sintéticos - 57 -
4.2.4.2. Argila Expandida - 59 -
4.2.4.1. Cortiça - 60 -
4.2.4.2. Celulose - 61 -
4.2.4.3. Cânhamo - 62 -
4.2.4.4. Vidro Celular - 62 -
4.2.4.5. Outros materiais - 63 -

4.3. Estrutura - 64 -
4.3.1. Infra-estrutura - 64 -
4.3.2. Super-estrutura - 64 -
4.3.2.1. Sistemas Construtivos em Terra - 64 -
4.3.2.2. Tijolo Estrutural de Furação Vertical - 65 -
4.3.2.3. Estruturas Metálicas Leves - 69 -
4.3.2.4. Blocos de Betão Celular Autoclavado - 69 -

4.4. Paredes exteriores e divisórias - 71 -
4.4.1. Evolução das soluções de envolvente exterior - 72 -
4.4.1.1. Parede Dupla - 73 -
4.4.1.2. Isolamento térmico pelo exterior - 74 -
4.4.1.3. Isolamento térmico pelo interior - 76 -
4.4.2. Soluções de envolvente interior – paredes divisórias - 77 -

4.5. Lajes e coberturas - 77 -
4.5.1. Coberturas Ajardinadas - 77 -

4.6. Elementos complementares de fachadas - 80 -
4.6.1. Caixilharias e Envidraçados - 81 -
4.6.2. Iluminação Natural - 82 -

4.7. Acabamentos - 84 -
4.7.1. Tintas e vernizes naturais - 84 -

4.7.2. Revestimentos ..... - 86 -

V. Caso de Estudo – Centro Urbano de Águeda ..... - 87 -

5.1. Introdução ..... - 87 -

5.2. Ambiente construído e área de intervenção ..... - 88 -

5.2.1. Edifícios em estudo ..... - 89 -

5.3. Aplicação da MARS-SC ..... - 91 -

5.3.1. Apresentação de Soluções de Parede Exterior ..... - 92 -

5.3.1.1. Soluções de Parede Dupla ..... - 93 -

5.3.1.2. Soluções de Parede Simples com Isolamento pelo Exterior (ETICS) ..... - 95 -

5.3.2. Resultados ..... - 97 -

5.4. Síntese ..... - 99 -

VI. Considerações Finais e Perspectivas Futuras ..... - 103 -

6.1. Dificuldades Sentidas ..... - 103 -

6.2. Conclusões Finais ..... - 103 -

6.3. Trabalhos e Perspectivas Futuras ..... - 104 -

Referências Bibliográficas ..... - 107 -

ANEXO A – Informação Adicional ..... - 113 -

ANEXO B – Cálculos Auxiliares da MARS-SC ..... - 117 -

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – BARRA CRONOLÓGICA E SINTETIZADORA DAS CONFERÊNCIAS E PRINCIPAIS DOCUMENTOS, IMPULSIONADORES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MUNDIAL. - 8 -
FIGURA 2 – ESQUEMATIZAÇÃO DAS DIFERENTES FASES QUE PERMITEM EFECTUAR A ANÁLISE CICLO DE VIDA [16]. - 12 -
FIGURA 3 – EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO ANCESTRAL DA CIVILIZAÇÃO MAIA [23]. - 16 -
FIGURA 4 – PONDERAÇÃO CONSIDERADA PARA AS 22 ÁREAS DO SISTEMA LIDERA (V2.01) [25]. - 20 -
FIGURA 5 – INTEGRAÇÃO DA COORDENAÇÃO DE PROJECTO DESDE CEDO NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO VERDE [1] - 23 -
FIGURA 6 – RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NO CONTINENTE EUROPEU (EXPRESSA EM KWH/M².ANO) [32]. - 25 -
FIGURA 7 – INCIDÊNCIA DO VENTO NA EUROPA (EXPRESSO EM KM/H) [32]. - 26 -
FIGURA 8 – REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS NO SECTOR RESIDENCIAL [33] - 26 -
FIGURA 9 – DIFERENTES TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS: A) MONOCRISTALINO, B) POLICRISTALINO, C) PELÍCULA ESPESSA, D) PELÍCULA FINA [46]. - 34 -
FIGURA 10 – OPTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO MEDIANTE A SUA ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO [46]. - 34 -
FIGURA 11 – FACHADA SUL DO EDIFÍCIO CONCEBIDO NO ÂMBITO DO PROJECTO SOLAR XXI (A) E PORMENORIZAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO INTEGRADO NA FACHADA (B) - 35 -
FIGURA 12 – ESQUEMA DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE AQS POR SISTEMA DE PAINÉIS SOLARES: 1 – COLECTORES SOLARES; 2 – DEPÓSITO ACUMULADOR; 3 – CALDEIRA; 4 – VASO DE EXPANSÃO; 5 – SAÍDA DE ÁGUA QUENTE. - 36 -
FIGURA 13 – FUNCIONAMENTO ELEMENTAR DAS MICRO-TURBINAS EÓLICAS (EIXO HORIZONTAL) [46] - 37 -
FIGURA 14 – PROTÓTIPOS DAS MICRO-TURBINAS DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO PROJECTO T.URBAN: A) T.URBAN-H DE EIXO HORIZONTAL; B) T.URBAN-V DE EIXO VERTICAL; C) MICRO-TURBINA HELICOIDAL [47]. - 38 -
FIGURA 15 – DIFERENTES TIPOS DE TUBAGEM ENTERRADA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA GEOTÉRMICA [46] - 38 -
FIGURA 16 – *PELLETS* UTILIZADOS COMO COMBUSTÍVEL EM RECUPERADORES DE CALOR [46]. - 40 -
FIGURA 17 – ESQUEMATIZAÇÃO DE UMA *SMARTGRID* [49]. - 41 -
FIGURA 18 – ESQUEMA DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA NUM SISTEMA FOTOVOLTAICO: A – PAINEL FOTOVOLTAICO; B – INVERSOR DE CORRENTE (AC/DC); C – CONTADOR DE PRODUÇÃO; D – CONTADOR DE CONSUMOS; E – REDE ELÉCTRICA DE SERVIÇO PÚBLICO (RESP) - 43 -
FIGURA 19 – CONJUNTO DE SOLUÇÕES A ADOPTAR NO SENTIDO DE SE ATINGIREM OS ZEB [54] - 45 -
FIGURA 20 – RÓTULOS DE CERTIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA HÍDRICA DE PRODUTOS DO SISTEMA VOLUNTÁRIO DA ANQIP … - 46 -
FIGURA 21 – PRECIPITAÇÕES ANUAIS (EXPRESSO EM MM) NA EUROPA [32]. - 47 -
FIGURA 22 – *EU ECOLABEL*: LOGÓTIPO DO RÓTULO ECOLÓGICO EUROPEU [63]. - 51 -
FIGURA 23 – RÓTULO R QUE QUANTIFICA OS RECURSOS UTILIZADOS NO FABRICO DO PRODUTO [64]. - 51 -
FIGURA 24 – RÓTULO AMBIENTAL DA FSC [66]. - 53 -
FIGURA 25 – RÓTULO AMBIENTAL DA PEFC [67] - 53 -
FIGURA 26 – QUANTIFICAÇÃO PARCELAR E PERCENTUAL DOS GASTOS DE ENERGIA POR COMPONENTE DE BETÃO [68]. - 54 -
FIGURA 27 – CICLO DA CAL [46] - 56 -
FIGURA 28 – ENCHIMENTO COM GRÂNULOS DE CORTIÇA EM BLOCOS CERÂMICOS DE FURAÇÃO VERTICAL [69] - 61 -
FIGURA 29 – VÁRIAS FORMAS E ASPECTOS DAS FIBRAS DE CÂNHAMO NA PREPARAÇÃO DE VÁRIAS SOLUÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO [75] - 62 -
FIGURA 30 – PEÇA BASE E COMPLEMENTARES DO SISTEMA CBLOCO [77] - 66 -
FIGURA 31 – GEOMETRIA DA FURAÇÃO DO TIJOLO RESPONSÁVEL PELA OPTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ISOLANTES - 67 -
FIGURA 32 – PORMENOR DA POROSIDADE ALIGEIRANTE DO CBLOCO [77]. - 67 -
FIGURA 33 – POUPANÇAS DE ARGAMASSA DEVIDO À GEOMETRIA DO CBLOCO [77] - 68 -
FIGURA 34 – EVOLUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE FACHADA NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL [82] - 72 -
FIGURA 35 – SOLUÇÕES ESQUEMÁTICAS DE PAREDES DUPLAS VISANDO A CORRECÇÃO DAS PONTES TÉRMICAS PLANAS … - 74 -
FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA ETICS [82]. - 75 -
FIGURA 37 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA FACHADA VENTILADA [DISSET.ES] - 76 -
FIGURA 38 – EXEMPLO COBERTURA AJARDINADA EXTENSIVA – ABBEY, ESCÓCIA [84]. - 79 -

FIGURA 39 – PERDAS ENERGÉTICAS ATRAVÉS DAS TROCAS TÉRMICAS COM O EXTERIOR PELOS DIFERENTES ELEMENTOS DE FACHADAS [86]. - 80 -
FIGURA 40 – TERMOGRAFIA DE FACHADA CONVENCIONAL [86]. - 82 -
FIGURA 41 – TUBO SOLAR DE CAPTAÇÃO DA LUZ SOLAR E REDIRECCIONAMENTO PARA O INTERIOR DO EDIFÍCIO [89] - 83 -
FIGURA 42 – ZONAS DA BAIXA DE ÁGUEDA CUJOS EDIFÍCIOS FORAM ALVO DE ESTUDO. - 88 -
FIGURA 43 – LOCALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS-ALVO NA BAIXA DE ÁGUEDA E RESPECTIVA FACHADA. - 90 -
FIGURA 44 – SOLUÇÃO DE PAREDE DUPLA CONVENCIONAL E DE REFERÊNCIA [AREF]. - 93 -
FIGURA 45 – SOLUÇÃO PAREDE DUPLA ADOPTADA CONSIDERANDO ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL [A1]. - 93 -
FIGURA 46 – SOLUÇÃO PAREDE DUPLA ADOPTADA CONSIDERANDO ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL [A2]. - 94 -
FIGURA 47 – SOLUÇÃO PAREDE DUPLA ADOPTADA CONSIDERANDO ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL [A3]. - 94 -
FIGURA 48 – SOLUÇÃO DE *ETICS* CONVENCIONAL E DE REFERÊNCIA [BREF] - 95 -
FIGURA 49 – SOLUÇÃO DE ETICS ADOPTADA CONSIDERANDO ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL [B1]. - 95 -
FIGURA 50 – SOLUÇÃO DE *ETICS* ADOPTADA CONSIDERANDO ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL [B2] - 96 -
FIGURA 51 – SOLUÇÃO DE *ETICS* ADOPTADA CONSIDERANDO ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL [B3] - 96 -
FIGURA 52 – COMPARAÇÃO GRÁFICA (TIPO RADAR) DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS REFERENTES A PAREDE DUPLA. - 97 -
FIGURA 53 – COMPARAÇÃO GRÁFICA (TIPO RADAR) DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS REFERENTES A PAREDES COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR - 97 -
FIGURA 54 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS VALORES DISCRIMINADOS NA TABELA 26. - 98 -

ÍNDICE DE FIGURAS EM ANEXO

FIGURA A.1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA MARS-SC [3] - 113 -
FIGURA A.2 – SÍNTESE DAS ZONAS CLIMÁTICAS DE PORTUGAL [45] - 114 -
FIGURA A.3 – COMPARAÇÃO PARCELAR DAS SOLUÇÕES DE PAREDE. - 115 -

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – NÍVEIS DE REABILITAÇÃO (ADAPTADO DE [13]).....- 10 -
TABELA 2 – ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS EM ALGUNS MATERIAIS CORRENTES NA CONSTRUÇÃO [17].....- 13 -
TABELA 3 – COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS MATÉRIAS-PRIMAS DE CONSTRUÇÃO [22].....- 16 -
TABELA 4 – ASSOCIAÇÕES E FERRAMENTAS DE APOIO À CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL EM DIVERSOS CAMPOS DE APLICAÇÃO [24].....- 17 -
TABELA 5 – PARÂMETROS CONSIDERADAS NO SISTEMA LIDERA (V2.01) [25].....- 19 -
TABELA 6 – DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS E INDICADORES CONSIDERADOS NA MARS-SC.....- 21 -
TABELA 7 – SÍNTESE DAS ESTRATÉGIAS PASSIVAS RELATIVAS ÀS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO.....- 32 -
TABELA 8 – SÍNTESE DAS ESTRATÉGIAS PASSIVAS RELATIVAS ÀS NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO .....- 33 -
TABELA 9 – SÍNTESE DE APLICAÇÃO DOS MATERIAIS ECOLÓGICOS POR ELEMENTO DE CONSTRUÇÃO [69].....- 58 -
TABELA 10 – PROPRIEDADES DA GAMA DE PRODUTOS EM ARGILA EXPANDIDA DA ARGEX ® [72].....- 59 -
TABELA 11 – PROPRIEDADES DO GRANULADO E AGLOMERADO DE CORTIÇA ENQUANTO ISOLANTES TÉRMICO-ACÚSTICOS [69,73].....- 60 -
TABELA 12 – PROPRIEDADES DE UM ISOLANTE EM FORMA DE PAINÉIS À BASE DE CELULOSE [17,69].....- 61 -
TABELA 13 – PROPRIEDADES DOS ROLOS E PAINÉIS DE ISOLAMENTO DE CÂNHAMO DA *THERMO-HEMP*® [74].....- 62 -
TABELA 14 – PROPRIEDADES DO PAINEL FOAMGLAS ® WALL BOARD CONSTITUÍDO POR VIDRO CELULAR [17,76].....- 63 -
TABELA 15 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ELEMENTO PRINCIPAL DO TIJOLO CBLOCO [77].....- 68 -
TABELA 16 – PROPRIEDADES DOS BLOCOS DE AAC.....- 70 -
TABELA 17 – PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS ASSOCIADAS AOS DOIS TIPOS DE COBERTURAS AJARDINADAS.....- 79 -
TABELA 18 – COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MATERIAIS CONVENCIONAIS PARA CAIXILHARIA [87].....- 81 -
TABELA 19 – VALORES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA PARA OS DIFERENTES TIPOS DE CAIXILHARIA [85].....- 82 -
TABELA 20 – LIGANTES CONSTITUINTES DE TINTAS CONVENCIONAIS E DE TINTAS NATURAIS [90].....- 85 -
TABELA 21 – SOLVENTES CONSTITUINTES DE TINTAS CONVENCIONAIS E DE TINTAS NATURAIS [90].....- 85 -
TABELA 22 - CONSERVANTES CONSTITUINTES DE TINTAS CONVENCIONAIS E DE TINTAS NATURAIS [90].....- 85 -
TABELA 23 – PESO DOS PARÂMETROS E INDICADORES NA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS [3].....- 91 -
TABELA 24 – VALORES MÁXIMOS E DE REFERÊNCIA DOS COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAIS DE ELEMENTOS OPACOS VERTICAIS [41].....- 92 -
TABELA 25 – RESULTADOS PARCIAIS DO CÁLCULO DE CADA PARÂMETRO POR SOLUÇÃO DE PAREDE.....- 97 -
TABELA 26 – DISCRIMINAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS PARA CADA INDICADOR E DA RESPECTIVA NOTA SUSTENTÁVEL.....- 98 -

ÍNDICE DE TABELAS EM ANEXO

TABELA A.1 – NORMALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS OBTIDOS NA TABELA 25.....- 115 -

TABELA B.1 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE AREF.....- 117 -
TABELA B.2 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE A1.....- 118 -
TABELA B.3 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE A2.....- 119 -
TABELA B.4 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE A3.....- 120 -
TABELA B.5 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE BREF.....- 121 -
TABELA B.6 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE B1.....- 122 -
TABELA B.7 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE B2.....- 123 -
TABELA B.8 – CÁLCULOS PARCIAIS RELATIVOS À SOLUÇÃO DE PAREDE B3.....- 124 -

SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

AAC	Aereted Autoclaved Concrete
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ANQIP	Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais
AQS	Águas Quentes Sanitárias
BEES	*Building for Environmental and Economic Sustainability*
BRE	*Building Research Establishment*
BREEAM	*BRE Environmental Assessment Method*
CASBEE	*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*
CC	Custo de construção
CCP	Código dos Contratos Públicos
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CEE	Comunidade Económica Europeia
CFC	Clorofluorcarboneto
CMA	Câmara Municipal de Águeda
CO_2	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CP	Coordenação de Projecto
dB	Decibel
DL	Decreto-Lei
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
e.g.	por exemplo (do latim *exempli gratia*)
etc.	e outros (do latim *et cetera*)
EM	Estado-Membro
EP	Espessura da Parede
EPD	*Environmental Product Declaration*
EPS	Poliestireno Expandido Moldado
ENE 2020	Estratégia Nacional para a Energia com horizonte em 2020
EPBD	*Energy Performance of Buildings Directive*

ETICS	*External Thermal Insulation Composite System*
FSC	*Forest Stewardship Council*
GBC	*Green Building Council*
GBTool	*Green Building Tool*
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HQE	*Haute Qualité Environnementale*
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
ISO	*International Organization for Standardization*
IST	Instituto Superior Técnico
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
$kg(eq)CO_2/kg$	Quilograma (equivalente) de CO_2 por quilograma
kWh/m^2	QuiloWatt por hora por metro quadrado
km/h	Quilómetros por hora
LEED	*Leadership in Energy and Environmental Design*
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
LiderA	Liderar pelo Ambiente
LISA	*Life-Cycle Assessment in Sustainable Architecture*
mm	Milímetros
MARS-SC	Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas
MJ/kg	Mega-Joule por quilograma
MPa	Mega-Pascal
MW	Lã Mineral
NABERS	*National Australian Built Environment Rating System*
NP	Norma Portuguesa
NZEB	*Near-Zero Energy Building*
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PEC	*Primary Energy Consumption*
PEFC	*Programme for Endorsement of Forest Certification*
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RESP	Rede Eléctrica de Serviço Público
SBtool	*Sustainable Building Tool*
UE	União Europeia
UNEP	*United Nations Environmental Program*
UNCEH	*United Nations Conference on the Human Environment*
UNFCCC	*United Nations Framework Convention on Climate Change*
vd.	veja (do latim *vide*)
W/m.ºC	Watt por metro por graus Celsius
WCED	*World Comission on Environment and Development*
WSSD	*World Summit for Sustainable Development*
XPS	Poliestireno Expandido Extrudido
ZEB	*Zero Energy Building*

I. INTRODUÇÃO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO

1.1. Enquadramento

"O principal desafio do séc. XXI consiste na mudança de ideais, dentro dos limites da Natureza, repensando políticas económicas, governamentais, éticas e de segurança, assegurando alimentação, energia, água, recursos e abrigos à humanidade. Mas, a transição para algo melhor em perspectiva, não é tanto um problema tecnológico, é antes uma questão de políticas e de liderança." (David Orr em [1])

O aumento populacional que se tem verificado desde a segunda metade do séc. XX, conduz a maiores consumos de recursos naturais, sobretudo em actividades humanas como a indústria da construção que acompanham tal crescimento, originando impactos ambientais numa razão proporcional. Paralelamente ao consumo de recursos, a indústria da construção potencia a ocupação e uso do solo, a produção em larga escala de resíduos e desperdícios, bem como a alteração dos ecossistemas naturais. Desta forma, o sector da construção não acarreta apenas importantes efeitos económicos e sociais como também ambientais [2].

O ambiente construído (artificial) é um sistema integrado no meio ambiente (natural), e que se traduz nas infra-estruturas, edifícios e outros produtos resultantes da actividade construtiva. A subsistência do ambiente artificial só é garantida através da integração de vários recursos provenientes do meio ambiente, e posterior devolução. Estas interacções entre o ambientes natural e o construído designam-se por impacto ambiental [2,3].

Com o objectivo de alcançar a sustentabilidade ambiental na construção, visa-se diminuir tais interacções, contudo, as alterações tecnológicas a que se tem assistido nem sempre têm evoluído no sentido da redução dos impactos ambientais, já que os consumos energéticos têm vindo sucessivamente a aumentar [2,3].

A construção de edifícios eficientes tem aumentado a nível mundial, sensibilizando os profissionais intervenientes para o sentido de emergência ecológica, para a possibilidade de novos designs, para a revolução de materiais e tecnologias e para uma perspicaz e minuciosa percepção do custo total dos edifícios, tanto para proprietários como para utilizadores/sociedade [1].

O processo de construção "verde" obriga a um debruçar sobre os processos convencionais de construção, sobre o ambiente que os rodeia e a própria comunidade, não como partes distintas, mas sim como integradas num só sistema que co-habite com a ecologia e as culturas locais [1].

Os esforços efectuados ao longo das últimas décadas no sentido da auto-suficiência, face ao ambiente perigoso e hostil para com a espécie humana, impulsionaram o regresso da construção com materiais naturais, de tecnologias apropriadas, a melhoria da qualidade do ar e a integração do ambiente construído com o ambiente natural, assim como o uso eficiente de recursos. Estas especificações e requisitos, aliados aos debates e conferências públicas mundiais, tornaram-se os pilares no

desenvolvimento de sistemas de avaliação e certificação do ambiente construído, relativamente à sustentabilidade, tais como o LEED, o BREEAM e o LiderA [4].

A construção sustentável é um conceito recente neste sector de actividade, pelo que se torna necessária a orientação de todos os intervenientes no projecto para questões relacionadas com a eficiência de recursos, a certificação, a saúde do edifício, entre outras. Os processos de contratação verde tornaram-se um impulso na implementação de um mercado com tecnologias mais amigas do ambiente, relativamente aos padrões de produção convencionais. A publicação de Directivas Europeias, aprovadas no Parlamento Europeu, e a consequente transposição para o Direito interno dos Estados Membros, ajudaram na promoção da Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2008-2010[1]. Da implementação desta estratégia releva-se a publicação do Código dos Contratos Públicos – CCP, publicado através do Decreto-lei n.º 18/2008, de 29 de Janeiro [1,5].

1.2. Objecto e objectivos do estudo

Da degradação que se regista nos centros urbanos do nosso país, principalmente a nível do património edificado, urge uma intervenção que satisfaça as condicionantes actuais, abrangendo a sociedade evitando o êxodo e respeitando a sustentabilidade na utilização de materiais e técnicas construtivas.

Com base numa área já delimitada pela Câmara Municipal de Águeda (CMA), pretende-se potenciar o conhecimento e a investigação no âmbito da construção sustentável, desenvolvendo um conjunto de especificações inovadoras. Na criação deste documento, tem-se em vista a sua potencial aplicação na reabilitação de imóveis do centro urbano.

O objectivo deste trabalho é elaborar um conjunto de especificações sustentáveis que suportem cadernos de encargos sustentáveis de apoio à reabilitação do edificado e a construção de edifícios novos. Na sua elaboração tem-se como objectivo específico apresentar soluções construtivas que incorporem materiais sustentáveis.

[1] *Aprovada na Resolução de Conselho de Ministros n.º 65/2007, de 7 de Maio.*

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos e 2 anexos. Neste Capítulo I, são apresentados os traços gerais do trabalho desenvolvido, dos quais se incluem o enquadramento do tema e seus objectivos.

No Capítulo II é efectuada uma introdução à temática da sustentabilidade dos edifícios e seus conceitos fundamentais.

O Capítulo III aborda os conceitos de eficiência energética e hídrica, com uma forte referência à legislação vigente. Também no Capítulo III é efectuada uma descrição das tecnologias de energia renovável passíveis de aplicação nos edifícios e como solução importante na caminhada para os edifícios de emissão quase zero.

Ao longo do Capítulo IV são especificados materiais que, pelas suas características físico-químicas possam contribuir para a minimização dos problemas ambientais, mantendo o nível de conforto dos seus ocupantes. Neste capítulo, é seguida uma ordem similar aos processos de construção, desde as fundações aos revestimentos.

No Capítulo V é introduzido o caso de estudo que culmina com a utilização de uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas.

O capítulo VI traduz considerações finais e propostas de desenvolvimento futuro.

II. ESTADO DA ARTE – ENQUADRAMENTO GERAL

2.1. Desenvolvimento Sustentável

A Revolução Industrial, que se iniciou em Inglaterra em meados do séc. XVIII, expandindo-se por todo o mundo no início do século seguinte, implicou uma significativa mudança na forma como as sociedades consumiam a energia, diferenciando épocas bem distintas. Até então, as energias predominantes eram a eólica e a hídrica (perfeitamente renováveis), que satisfaziam as necessidades básicas, até que o carvão mineral começou a ser utilizado intensivamente, seguindo-se-lhe o petróleo e as suas energias secundárias (combustíveis fósseis). A situação actual de produção e consumo de energia, originará a exaustão de recursos e graves consequências ambientais [3].

Forças como as mudanças climáticas, aliadas ao rápido esgotamento das reservas mundiais de petróleo, ameaçam as economias e a qualidade de vida nos países desenvolvidos. Ambos estão relacionados com a dependência dos combustíveis fósseis. O aumento da temperatura e a subida do nível médio do mar serão a consequência natural de uma excessiva libertação para a atmosfera de grandes concentrações de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), entre outros gases com efeito de estufa (GEE), afectando profundamente os padrões climáticos do futuro [1].

Tem havido uma forte aposta no sentido de reformular a indústria de construção, obrigando todos os profissionais envolvidos nas diversas fases a repensar o seu papel no processo de construção. O principal impulso provém do movimento "desenvolvimento sustentável", que tem alterado não só estruturas mas também trabalhadores das empresas e organizações que materializam o ambiente construído, assim como as entidades que dele beneficiam [1].

No sentido de implementar os conceitos da construção sustentável, esta indústria deverá mudar os processos de criação do ambiente construído, isto é, passar do processo de construção linear convencional, para um processo cíclico. A esta mudança associar-se-ão significativos aumentos de recursos reciclados, renovados e reutilizados, contrastando com um significativo decréscimo do consumo de energia e de recursos. Deverá ser reconhecido que os recursos naturais são uma dádiva da natureza e os processos lineares convencionais têm usado e consumido esses recursos sem considerar a capacidade de "reabastecimento" [6].

Emergem então conceitos que pretendem eliminar as causas que originam esses impactos ambientais, contribuindo para uma construção sustentável tais como: a eco-eficiência, a avaliação do custo de vida (ACV) e do custo do ciclo de vida (CCV) dos materiais, projecto eficiente, entre outros. Estes conceitos articulam técnicas específicas de avaliação e aplicação dos princípios de sustentabilidade ao ambiente construído [1].

Os conceitos de desenvolvimento sustentável têm-se discutido mundialmente nas últimas décadas, e o subconceito "construção sustentável" distingue o papel do ambiente construído na contribuição para uma visão global de sustentabilidade [1].

2.1.1. HISTÓRIA E CRONOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Apesar de ainda no Mundo Clássico ter nascido o ideal de construir em harmonia com a Natureza e mais recentemente (1897) Ruskin afirma que "os edifícios devem ser complacentes com o ambiente que os rodeia, utilizando materiais locais", as preocupações ambientais remontam à segunda metade do séc. XX. Nas décadas de 50 e 60, com a introdução dos *Clean Air Acts* (1956 & 1968), com o fascínio dos ambientalistas da época pelos hippies e das suas publicações em massa pelas causas ambientais [7].

Contudo, só a partir da década de 70, tais preocupações ocorreram ao nível governamental com o então Relatório de Crescimento (do inglês *Growth Report*) e a Conferência de Estocolmo datados de 1972, contemporâneos da fundação do *Greenpeace* (1971) e do alarmismo público mundial relativamente aos problemas ambientais [7].

A primeira Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano[2], vulgarmente designada de Conferência de Estocolmo, foi o ponto de partida para os esforços internacionais que se desenvolveram na procura dos ideiais ambientais sustentáveis da indústria, que se seguiram até aos dias de hoje, resultantes das crescentes preocupações pelas questões ambientais e do aumento das exigências legais no âmbito da protecção ambiental [7].

A complexidade que se previa para o conceito "desenvolvimento sustentável" ficou prevista e patente num documento que remonta a 1974, pela mão do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente[3], conhecido como Declaração de Cocoyoc e que descreveu as ideias fundamentais em que se enraizou a sustentabilidade [4]:

- ✓ conciliação das necessidades básicas com os limites do ambiente;
- ✓ limitação dos consumos e impactos ambientais;
- ✓ atribuição de responsabilidades respeitando a natureza;
- ✓ solidariedade para com as gerações futuras.

No final dos anos 80, com a crescente consciencialização dos problemas globais como a degradação da camada do ozono e das chuvas ácidas, as questões ambientais passaram a ser vistas não só a nível da sua repercussão como ao nível do processo. Compreendeu-se então que os impactes ambientais resultantes de uma determinada actividade eram provocados por todo o processo produtivo, assumindo-se a necessidade de compatibilizar tais processos com o conceito de desenvolvimento sustentável [2].

Tal conceito é definido como "desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades" evidenciado pela publicação do Relatório Brundtland - Nosso Futuro Comum (do inglês *Brundtland*

[2] *United Nations Conference on the Human Environment (UNCEH)*
[3] *United Nations Environment Program (UNEP)*

Report – Our Common Future), dos trabalhos desenvolvidos e concluídos em 1987 pela Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento[4] [3].

O conceito despertou a atenção internacional que, face à contínua problemática económica e ambiental, compreendeu a necessidade de uma diferente abordagem. Desta forma, foi notória a revisão dos programas e ideais governamentais na promoção do desenvolvimento sustentável [8].

Em 1992, realizou-se a Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento[5], vulgarmente designada por Cimeira da Terra, que teve lugar no Rio de Janeiro, Brasil, e onde o termo desenvolvimento sustentável foi incorporado nos documentos oficiais – Agenda 21 – como um objectivo comum a ser atingido pela população mundial. Dois anos mais tarde, em Novembro de 1994, realizou-se em Tampa, Flórida (EUA), a I Conferência Mundial para a Construção Sustentável[6], onde foi discutido o futuro da construção no contexto da sustentabilidade [6].

Em termos do projecto internacional de sustentabilidade, as iniciativas realizadas até à viragem do século, falhavam quanto a uma mudança significativa e crê-se que tinham origem nas versões de sustentabilidade que eram promovidas [4].

Com o reconhecimento que, sobretudo os países mais desenvolvidos, foram os principais responsáveis pelos elevados níveis de emissões de GEE, resultado duma actividade industrial de mais de 150 anos, foi instituído internacionalmente em 1997, pela mão da Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas7, o Protocolo de Quioto. Discutido e negociado em Quioto, Japão, o protocolo tinha como principal objectivo uma redução em pelo menos 5% dos GEE durante o período de 2008-2012, relativamente aos valores registados em 1990. O protocolo foi finalmente ratificado em 2005, com o acordo entre as 184 partes da Convenção [9].

Em 2002, a UNEP organiza a Cimeira Mundial para o Desenvolvimento Sustentável[8], em Joanesburgo, África do Sul. Numa reafirmação do empenho no cumprimento dos objectivos da Agenda 21, foi sublinhada nesta Cimeira a importância da procura do desenvolvimento sustentável [2].

Mais recentemente, em Dezembro de 2009, decorreu a Cimeira de Copenhaga, na Dinamarca, naquela que viria a ser a 15ª e a maior conferência realizada pela UNFCCC, com a representação de 192 nações. Surge da necessidade de dar continuidade à prevenção das mudanças climáticas uma vez que em 2012 estará concluído o Protocolo de Quioto. Revelou-se no entanto uma Cimeira polémica onde as prioridades e preocupações particulares dos diferentes países vetaram o acordo nas negociações [9].

[4] *World Commission on Environment and Development (WCED)*
[5] *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*
[6] *First World Conference for Sustainable Construction*
[7] *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*
[8] *World Summit for Sustainable Development (WSSD)*

Figura 1 – Barra cronológica e sintetizadora das conferências e principais documentos, impulsionadores do desenvolvimento sustentável mundial.

2.1.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM PORTUGAL

Com o objectivo de preparar a intervenção e o Relatório de Portugal na Cimeira de Estocolmo de 1972, foi criada no ano anterior, a Comissão Nacional do Ambiente pertencente à já extinta Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica [2].

Em 1986, com a adesão de Portugal à então designada Comunidade Económica Europeia (CEE), ficaram estabelecidas as exigências ambientais para as várias actividades, não só pela legislação nacional existente, como pela transposição de legislação comunitária [2].

A Lei de Bases do Ambiente (Lei nº 11/87, de 7 de Abril) definia então as linhas de intervenção de Política de Ambiente, apelando à participação pública na formulação e implementação das políticas ambientais e do planeamento de território. Desta forma, e sob a Lei das Organizações Não-Governacionais de Defesa do Ambiente (Lei nº 10/87, de 4 de Abril), definiu-se que tais associações "têm o direito de participar e intervir na definição da política do ambiente e nas grandes linhas de orientação legislativa". Pretendia-se então maior operacionalidade nas licenças e na prevenção de riscos industriais, assim como maior acesso à informação da Rede Nacional de Áreas Protegidas [2,10].

Após a Cimeria do Rio, em 1992, Portugal sofreu um processo de reestruturação institucional e organizacional assim como uma revisão dos quadros legais por forma a implementar a Agenda 21. Com a análise do documento foram identificadas as áreas de acção mais significativas tendo em conta a situação nacional [10].

Contemporaneamente, Portugal implementava o 5º Programa de Acção em Matéria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (1993-2000) atingindo 5 sectores-alvo: indústria, energia, transportes, agricultura e turismo [2,10].

Ainda no final do século passado, Portugal passou por um período de definição das orientações estratégicas e actividades de planeamento intenso, simultaneamente à preparação e execução do Plano de Desenvolvimento Regional (PDR) para 1994-99, o Plano Nacional do Meio Ambiente, bem como a posterior aprovação do novo Quadro Comunitário de Apoio (UE). Resultado do avolumar dos recursos financeiros disponibilizados, foi promovida a utilização eficiente dos recursos e o Meio Ambiente tornou-se um factor essencial na formulação de todas as políticas sectoriais, nomeadamente o Plano de Gestão de Resíduos [10].

2.2. Reabilitação do Edificado Urbano

Por reabilitação urbana entende-se "um conjunto de acções tendentes à recuperação e beneficiação de áreas urbanas degradadas, dirigidas aos edifícios, ao espaço público, às infra-estruturas e/ou à condição sócio-económica e cultural das populações" [11].

Sobretudo em centros históricos, interessa adoptar esta atitude sobre o edificado, apontando evidentes melhorias de habitabilidade e/ou acessibilidade sem comprometer, contudo, a historicidade do conjunto. Como tal, cresce a importância de uma reabilitação sustentável e equilibrada que, aliada à estética, centre as suas preocupações na segurança estrutural [11].

Em Portugal, as intervenções nos centros históricos do Porto, Guimarães, Lisboa e Évora representam casos de sucesso em intervenções de reabilitação urbana, no entanto, a aposta na reabilitação representa, segundo dados de 2008, 10% da produção total da construção no nosso país, contrastando com os 40% que se registam em média na UE. A diminuta aposta na reabilitação e a consequente degradação que muitas áreas das cidades atingiram podem ser explicadas [12,11]:

- ✓ pelo predomínio do modelo de crescimento urbano;
- ✓ pela inexistência de um enquadramento normativo, procedimental, fiscal e financeiro que estimule e premeie o investimento;
- ✓ pelas características sócio-económicas de proprietários e inquilinos;
- ✓ pelas restrições arquitectónicas;
- ✓ pela adaptabilidade a novas exigências e compatibilidade de soluções.

Esta realidade coabita com espaços de comércio e serviços que ocupam frequentemente os pisos inferiores dos edifícios, originando autênticas ilhas de actividade nos centros urbanos. Porque o número de núcleos urbanos degradados é ainda significativo, importa criar e desenvolver modelos e metodologias sustentados no registo e diagnóstico dos edifícios, que permitam apoiar os intervenientes no processo de reabilitação urbana. Desta forma, alimentar-se-á a actual tendência para este tipo de intervenção, evitando a falta de qualidade de intervenções do passado que ignoravam uma estratégia-base adequada [11].

Na decisão a tomar sobre um elemento ou conjunto de elementos construtivos, relativamente aos quais as operações de manutenção e conservação se revelam ineficazes ou sem efeito podem adoptar-se três alternativas [13]:

- ✓ atitude passível à degradação, abandonando;
- ✓ reparar o(s) elemento(s), por danos visíveis ou por inadequação às novas exigências, procurando restabelecer ou melhorar as propriedades a que se destina(m);
- ✓ substituição desse(s) elemento(s), caso seja inviável a reparação.

No Guia Técnico de Reabilitação Habitacional[9] são classificadas intervenções de reabilitação, de forma gradual em quatro níveis de reabilitação, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de reabilitação (adaptado de [13]).

Nível	Descrição
Nível I Reabilitação Ligeira	Execução de pequenas reparações e beneficiações das instalações e equipamentos existentes: — melhoria das condições interiores de ventilação e exaustão; — limpeza e manutenção da cobertura e do sistema de drenagem de águas pluviais; — reparação pontual de rebocos e pinturas, interiores e exteriores do edifício; — beneficiação da instalação eléctrica e de iluminação.
Nível II Reabilitação Média	Além dos trabalhos compreendidos no Nível I, engloba ainda: — reparação ou substituição parcial de carpintarias; — reparação e eventual reforço de elementos estruturais, geralmente de pavimentos e da cobertura; — reparação generalizada de revestimentos nos paramentos interior e exterior; — melhoria das condições funcionais e ambientais dos espaços (reorganização) e equipamentos.
Nível III Reabilitação Profunda	Além dos trabalhos referidos nos níveis anteriores, compreende: — introdução de profundas alterações na distribuição e organização de espaços interiores dos edifícios; — reparação de elementos construtivos deteriorados que possam colocar em risco a segurança dos utilizadores (escadas, paredes divisórias, cobertura); — introdução ou adaptação de espaços para criar instalações e equipamentos em falta nos alojamentos.
Nível III Reabilitação Excepcional	Operações de natureza excepcional, com grau de desenvolvimento profundo, cujo custo pode se aproximar ou superar o custo de uma nova edificação se características semelhantes. Podem obrigar: — à reabilitação e/ou reforço de elementos estruturais; — à reabilitação para padrões muito superiores aos preexistentes.

[9] *Edição do Instituto Nacional da Habitação (reestruturado e redenominado Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana) publicada em 2006 coordenada por José Vasconcelos Paiva, José Aguiar, Ana Pinho.*

2.3. Materiais e Tecnologias Construtivas

A exploração de novas tecnologias com o intuito de harmonizar a indústria da construção com os desígnios do desenvolvimento sustentável, contribuirá para colmatar a carência tecnológica de que padece o sector que, nos dias de hoje, apresenta uma significativa responsabilidade quanto à degradação do meio ambiente [3].

Uma das formas de optimizar a sustentabilidade e o progresso da qualidade dos produtos e processos, do resultado da actividade da indústria da construção, passa pela tecnologia de pesquisa e desenvolvimento de materiais inovadores recicláveis e pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção [6].

Cresce a necessidade duma mudança das técnicas de construção para que sejam satisfeitos os requisitos duma construção sustentável. Na resolução da complexidade do problema, exige-se uma evolução sistemática que tenha em conta as restrições regulamentares, o atraso na inovação e na mão-de-obra qualificada e na própria integração dos sistemas construtivos [14].

As actuais apostas em edifícios eco-eficientes conjugam as melhores soluções dos métodos de construção convencionais com a emergente abordagem eficiente, através de técnicas de construção sustentável que salvaguardam uma resposta eficaz quanto à questão do impacto ambiental e do consumo de recursos. Para tal, tem em conta o ciclo de vida do edifício e das suas componentes, invocando também os recursos renováveis para sistemas de energia, reutilização e reciclagem de água e materiais, assim como sistemas passivos de aquecimento, arrefecimento e ventilação [1].

Os processos de reutilização e reciclagem dos materiais existentes ao invés da aplicação de novos conduzem a uma efectiva conservação dos recursos naturais, na redução da energia incorporada assim como acarreta benefícios económicos tangíveis. Contudo, estes processos estão associado a inevitáveis questões técnicas relacionadas com a especificação, localização e aquisição dos materiais. Neste contexto, a análise do ciclo de vida (ACV) de materiais e processos são particularmente relevantes e reveladores [15,14].

O ciclo de vida de um produto (Figura 2) engloba a sua extracção, aplicação, utilização e manutenção, reparação e renovação, assim como a demolição, reciclagem e/ou alienação. Assim, cabe à equipa de projecto a adopção de uma linha estratégica na selecção de materiais, avaliando as implicações de todas estas fases [3,14]:

- ✓ energia incorporada no material;
- ✓ risco de impacto ambiental – toxicidade para seres humanos e ecossistemas;
- ✓ risco de esgotamento de recursos;
- ✓ potencial de reciclagem, reutilização e/ou reintegração ecológica;
- ✓ custos económicos associados.

Figura 2 – Esquematização das diferentes fases que permitem efectuar a análise ciclo de vida [16].

2.3.1. ENERGIA E IMPACTO ECOLÓGICO INCORPORADO NO MATERIAL

A energia incorporada de um dado material de construção pode ser tomada como o consumo total de energia durante o seu ciclo de vida. Idealmente esse ciclo é caracterizado pelos consumos intrínsecos desde o processo de extracção da matéria-prima até ao final do seu período de utilização, conhecido como ciclo do-berço-ao-túmulo (do inglês *Cradle-to-Grave*) [17].

Estima-se que cerca de 80% do valor de energia incorporada corresponde à **energia primária incorporada** (do inglês *Primary Energy Consumption – PEC*), que inclui toda a energia consumida durante a produção dos materiais, incluindo os consumos de energia relativos à extracção das matérias-primas, o seu transporte, processamento e transformação. Tem-se tornado uma prática comum esta forma de especificar a energia incorporada dos materiais, também designado por ciclo do-berço-à-porta (do inglês *Cradle-to-Gate*). Os restantes 20% estimados corresponderão à energia consumida até que o material esteja pronto a ser usado, mantido e/ou até a sua demolição (inclui o transporte dos materiais para o estaleiro, a fase de construção e eventuais fases de manutenção, reabilitação ou mesmo demolição) que designam o ciclo do-berço-à-obra (do inglês *Cradle-to-Site*) [3,17].

Tendo em conta esta questão dos consumos energéticos associados aos materiais de construção, e para uma selecção adequada dos materiais com vista à sustentabilidade ambiental, releva-se a preferência por produtos locais (que propiciem menores custos e energia incorporada devido ao transporte), a utilização de materiais de grande durabilidade, e a utilização de materiais/sistemas construtivos de massa baixa valorizando a "construção leve" (em geral, quanto menor a massa de um edifício, menor a energia incorporada) [3].

É importante reter, contudo e de acordo com a durabilidade de cada material, que a selecção de um material com maior quantidade de energia incorporada poderá ser, contudo, mais vantajosa, assim que o seu ciclo de vida seja mais alargado (um maior custo ambiental em termos energéticos será amortizado num maior número de anos de utilização e rendimento). Também nesta óptica importa perceber o comportamento passivo dos edifícios, já que a selecção de um material com baixa energia incorporada mas com mau comportamento térmico poderia comprometer a sustentabilidade do projecto ao exigir maiores consumos energéticos para aquecimento e arrefecimento do edifício [3].

Como referido, o $C0_2$ é tido como um dos gases com maior responsabilidade nas alterações climáticas. A sua produção/libertação está associada à deflagração de combustíveis fósseis correntes em alguns processos a que se submetem os materiais de construção. Assim, o impacto ecológico incorporado nos materiais é geral e somente associado às emissões de dióxido de carbono, apesar de, nesse impacto, estarem implícitos outros factores como a contaminação dos cursos de água, delapidação dos recursos naturais e os custos energéticos no seu transporte. A quantificação dessas emissões, medidas em gramas equivalentes de CO_2 por quilograma de material, é traduzida num indicador denominado **potencial de aquecimento global** – PAG [3].

Estes dois factores de agressividade ambiental que os materiais incorporam, têm sido alvo de estudo – análises do ciclo de vida dos materiais – e de numerosas publicações em forma de artigos, livros, conferências, *etc*. Da reunião desta informação, resultam bases de dados que sumarizam esse impacte ambiental (Tabela 2), como é o caso do Inventário da Energia e do Carbono, desenvolvido e publicado pela Universidade de Bath, em 2007 [17].

Tabela 2 – Energia e carbono incorporados em alguns materiais correntes na construção [17]

Material	**PEC** (MJ/kg)	**PAG** ($kgeqCO_2/kg$)
Água	0,20	–
Aço	24,4	1,77
Tijolo	3,00	0,22
Madeira (vigas)	8,50	0,46
Madeira (laminada)	12,0	0,65
Madeira (contraplacado)	15,0	0,81
Betão	2,12	0,24
Pedra Natural	1,00	0,06
Alumínio	155	8,24
PVC	77,2	2,41
Cortiça	4,00	0,19
Lã mineral	16,6	1,20
Poliestireno Expandido	88,6	2,50
Gesso cartonado	6,75	0,38
Vidro	15,0	0,85

2.3.2. POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM

Pelo referido nas secções anteriores, importa criar uma política coordenada ao longo das várias fases do ciclo de vida dos edifícios, aplicando de forma integrada os requisitos dos instrumentos regulamentares e não regulamentares, potenciando a eficiência energética dos edifícios sem esquecer a salvaguarda das questões ambientais. Um aspecto fundamental nessa contribuição consiste na minimização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), reduzindo a sua deposição final, estabelecendo um fluxo de materiais sustentáveis dentro do sector da construção, visando a utilização de materiais reciclados. Dados do Instituto superior Técnico – IST, estimam que durante o ano de 2004, 95% dos RCD produzidos foram depositados em aterro, muitos, de certo, com grande

potencial de reaproveitamento. A título de exemplo a taxa média de reciclagem de RCD na Europa é de 50%, já na Dinamarca a taxa de reciclagem de resíduos é de cerca de 89% [2,18].

Convém sublinhar que os RCD representam uma significativa parte dos resíduos gerados no espaço europeu – numa produção estimada em 100 milhões de toneladas. Além da quantidade alarmante, o fluxo de resíduos apresenta outras particularidades que dificultam a sua gestão tais como a sua constituição heterogénea com fracções variadas e de diferentes níveis de perigosidade. Da conjugação deste com outros factores resultam situações ambientalmente indesejáveis – e.g. deposição não controlada de RCD –, que em pouco ajudam no sentido do cumprimento dos compromissos internacionais e comunitários [19].

Neste sentido, assume particular importância o Decreto-Lei nº 46/2008 de 12 de Março, que "estabelece o regime das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou de derrocadas, abreviadamente designados resíduos de construção e demolição ou RCD, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação". Esta gestão dos RCD é feita com base nos príncipios da auto-suficiência, previstos no Decreto -Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro [19].

Pelo citado, a gestão de RCD, designadamente em obras de reabilitação de edifícios carece de especial atenção. Constata-se, apesar da legislação vigente, a existência de insuficientes estudos visando a realidade portuguesa, que abordem a caracterização e quantificação deste tipo de resíduos em obras de reabilitação [20].

2.3.3. TOXICIDADE DOS MATERIAIS E A QUALIDADE DO AR INTERIOR

Apesar da maioria dos poluentes ter origem em actividades humanas e de equipamentos exteriores ou até mesmo interiores, a qualidade do ar interior (QAI) dos edifícios pode ser preocupante e significativamente fraca pela emissão gasosa e de partículas sólidas por parte de materiais, produtos e componentes. Em consequência da elevada permanência das pessoas em espaços interiores (actualmente estimado em mais de 80% do seu tempo), expostas a estes poluentes, e de deficientes níveis de ventilação dos espaços, surgem diversos e sérios riscos para a saúde dos ocupantes, mesmo que a longo prazo [3,21].

A QAI em ambientes residenciais e de trabalho não industrial tem vindo a ser objecto de atenção crescente por parte da comunidade científica, pois podem encontrar-se inúmeros poluentes nomeadamente compostos orgânicos e também muitos compostos inorgânicos [21]. Importa então analisar, individualmente, a toxicidade de cada um destes elementos a par duma análise da capacidade dos sistemas de ventilação e filtragem (diluição ou remoção de poluentes) para que seja assegurada a qualidade do ar interior. De entre os mais vulgares e perigosos, utilizados/presentes na construção, constam [3]:

- ✓ (Hidro)Clorofluorcaboneto (CFC/HCFC): fluído incombustível e incolor à temperatura ambiente, frequentes em isolamentos e sistemas de ar condicionado;

- ✓ Compostos Orgânicos Voláteis (COV): presentes em pinturas, revestimentos, isolamentos e compósitos de madeira (p.e. formaldeído);
- ✓ Substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas (PBT): mercúrio, chumbo, cádmio que se encontram em tintas e acessórios de redes hidráulicas de edifícios antigos; assim como o CCA (Crómio-Cobre-Arsénio), uma substância utilizada para tratamento de madeiras, conferindo maior durabilidade;
- ✓ Amianto/Asbesto: substância utilizada no fabrico de materiais e tecidos incombustíveis, bastante comum em fibrocimentos, isolantes e colas.

Em particular é dada grande importância ao estudo da influência dos compostos orgânicos voláteis (COVs), por existirem no ambiente interior em concentrações superiores às do exterior. Por outro lado, o desconforto experimentado pelos utilizadores é também causado pela sensibilidade a certos odores existentes, mesmo a níveis de concentração muito baixos. Estudos científicos mostram que vários materiais usados na construção, como materiais estruturais ou de revestimento, são as principais fontes de poluição do ar interior devido às suas grandes superfícies e à permanente exposição [21].

Ainda no campo dos efeitos da qualidade do ar interior na saúde há a realçar o problema do Síndroma dos Edifícios Doentes (SED) que é atribuído ao edifício como um todo, porque as causas não são passíveis de uma identificação diferenciada em relação aos sintomas. Um factor importante que contribui para o SED é a presença de substâncias químicas em ambientes interiores, tais como os COVs e formaldeído, sobretudo em edifícios novos ou renovados, que muitas das vezes têm materiais de construção e mobiliário com elevadas taxas de emissão de COVs. Também as Doenças Relacionadas com o Edifício (do inglês *Building Related Illness* - BRI), que são um conjunto de sintomas que podem ser directamente atribuídos a fontes identificadas podendo ser diagnosticados e clinicamente identificados, e, ao contrário de muitos casos do SED persistem após o abandono do edifício. [21].

2.3.4. EVOLUÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Durante séculos da existência do homem na terra, viveu-se sem arquitectos, engenheiros, projectistas ou mão-de-obra qualificada no fabrico e manuseio dos materiais. Muito do que foi feito pelas culturas ancestrais, surgiu da observação, teste e prática e são ainda hoje reconhecidas pelo uso eficiente dos materiais, pela beleza e longevidade das soluções. Podemos encontrar centenas de soluções construtivas ao mesmo tempo sustentáveis e inovadoras, desde a arquitectura vernacular das civilizações orientais usufruindo com excelência do barro, palha, *bamboo* e papel, até às construções tradicionais maias com telhados de colmo e finas paredes de calcário (Figura 3) que se mostraram confortáveis e resistentes a grandes intempéries [22].

Dos limitados conhecimentos de engenharia e propriedades dos materiais (Tabela 3), resultaram construções tradicionais imperfeitas, pelo que é comum, por exemplo, o desconforto de construções

em terra e mau desempenho das mesmas aos efeitos sísmicos. Desta forma, muitos materiais tradicionais foram abandonados por substituição de materiais modernos que foram surgindo [22].

Figura 3 – Exemplo de construção ancestral da civilização Maia [23].

Tomando uma atitude interventiva, as estruturas tradicionais de pedra e/ou terra que se revelem fracas na resistência das acções sísmicas poderiam facilmente ser reforçadas com adição de malha de arame ou placas de gesso, reabilitando-as sustentavelmente ao invés de as abandonar [22].

Tabela 3 – Comparação das propriedades das matérias-primas de construção [22].

Material	Resistência à Tracção	Resistência à Compressão	Peso	Durabilidade
Pedra	baixa-mod	alta	alto	longa
Barro	baixa	mod-alta	alto	mod-longa
Palha	alta	baixa	baixo	curta-mod
Bambu	alta	mod-alta	moderado	moderada
Madeiras	alta	mod-alta	moderado	mod-longa
Textéis[a]	mod-alta	baixa	baixo	curta-mod
Couro	mod-alta	baixa	moderado	curta-mod
Resinas	variável	variável	moderado	variável
Cimento	baixa	alta	alto	longa
Cal	baixa	moderada	alto	mod-longa
Metais[b]	alta	moderada	mod-alto	curta-mod
Plásticos	mod-alta	baixa-mod	baixo-mod	curta-mod

Nota: mod=moderado;
[a] linho, seda, lã, etc;
[b] alumínio, aço, etc.

Soluções construtivas de sucesso combinam actualmente materiais compósitos com diferentes propriedades, como o betão armado, numa associação do cimento (resistente à compressão) com o aço (resistente à tracção). De uma forma análoga, a lama (resistente à compressão) quando associada à palha (resistente à tracção) é um exemplo de eco-compósitos de materiais naturais que dão garantias de bom desempenho estrutural [22].

2.3.5. SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DO EDIFICADO SUSTENTÁVEL

Métodos, sistemas e protocolos de avaliação e certificação ambiental têm surgido em múltiplos países (Tabela 4), contribuindo, qualitativa e quantitativamente, na parametrização do impacto ambiental de produtos, processos construtivos e/ou do edificado como um todo [24,14].

As metodologias existentes baseiam a sua avaliação numa série de indicadores e parâmetros, considerados mais representativos dos objectivos da mesma. Um indicador permite avaliar o comportamento de uma solução face a um ou mais objectivos do desenvolvimento sustentável e um parâmetro é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação sobre um fenómeno, ambiente ou área [3].

Tabela 4 – Associações e ferramentas de apoio à construção sustentável em diversos campos de aplicação [24].

	Sistema	País	Objectivos
Edifícios	**GBTool / SBTool**	*10	Avaliação do desempenho ambiental, através de software com base de dados adaptados à realidade de cada país
	BREEAM	Reino Unido	Avaliação voluntária e consensual, focada no mercado
	LEED	E.U.A.	Certificação e avaliação durante as fases de projecto, concepção e operação
	HQE	França	Acção coerente e dinâmica dos intervenientes na avaliação do impacte ambiental
	GBC	Canadá	Investigação e contributo para a avaliação do desempenho do edifício durante a fase de projecto
	NABERS	Austrália	Sistema de avaliação de edifícios existentes
	CASBEE	Japão	Pretende satisfazer requisitos políticos e as necessidades do mercado, através do ciclo de vida do edifício
	LiderA	Portugal	Sistema de apoio e avaliação da construção sustentável
Materiais	**ATHENA**	Canadá	Selecção de materiais e adopção de estratégia na redução dos impactes ambientais
	ECO-QUANTUM	Austrália	Contribuição para o desenvolvimento através de pesquisa e desenvolvimento de ACV
	BEES	E.U.A.	Suporte à selecção de materiais com base em consensos
	LISA	Austrália	Optimização dos sistemas construtivos pela ACV inter-materiais
	SimaPro	Holanda	ACV de produtos e processos

Como principais limitações da indústria da construção na contribuição da avaliação da sustentabilidade dos produtos, destacam-se [3]:

- ✓ heterogeneidade do produto final: conta com diversos intervenientes nas diversas fases do ciclo de vida; a durabilidade é muito variável e o desempenho dos seus produtos é muito dependente dos seus utilizadores;

[10] *Consórcio constituído por mais de 25 países*

- ✓ variabilidade do peso, da quantificação e qualificação de indicadores e parâmetros: o peso varia com o contexto político, tecnológico, cultural, social e económico vigente no âmbito nacional; a disparidade de indicadores e parâmetros e a assimetria do respectivo peso na avaliação, torna difícil a comparação dos resultados e da própria interpretação dos mesmos.

A avaliação, uma vez que pretende respeitar as exigências legais e satisfazer requisitos mínimos dos respectivos e diferentes critérios adoptados, poderá ser efectuada a uma escala local, regional, nacional ou mesmo global. Contudo, atendendo às limitações descritas não há uma metodologia que seja internacionalmente aceite, pelo que a maioria tem carácter nacional ou regional [1,3,25].

Há uma maior incidência, pela sua elevada importância, na investigação e desenvolvimento da avaliação da sustentabilidade no sector do edificado, respeitando uma orientação em diferentes escalas de análise: materiais, produtos e elementos de construção, zona independente, edifício e local de implantação. Distinguem-se assim três tipos de metodologias [3]:

- ✓ ferramentas de suporte à concepção;
- ✓ sistemas de ACV;
- ✓ sistemas de avaliação e reconhecimento.
- ✓ Os sistemas de avaliação e certificação ambiental do edificado foram essencialmente criados com o propósito de promover edifícios eco-eficientes e alguns, como o LEED, estimulam as exigências do mercado para a construção sustentável. Um edifício com bons resultados na sua avaliação potenciará o seu valor no mercado, pelo seu menor custo de operação e manutenção e qualidade do ar interior [1].

A nível nacional, e desde o ano 2000, tem sido desenvolvido o projecto de um sistema de apoio e avaliação da construção sustentável, designado por LiderA, acrónimo de Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção. Este projecto, encabeçado por Manuel Pinheiro[11] e desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico (IST), com o suporte do IPA – Inovação e Projectos em Ambiente, Lda., é já uma marca registada portuguesa que, como tal, reconhece e certifica projectos com diferentes finalidades no âmbito da sustentabilidade nos ambientes construídos. O sistema assenta em princípios fundamentais implementados nas respectivas vertentes, que por sua vez, têm diferentes pesos no sistema de avaliação (Tabela 5). Com base na sustentabilidade, os critérios definidos pelo sistema nas diferentes áreas (Figura 4), pressupõe o cumprimento das exigências legais e a satisfação de requisitos essenciais mínimos [25].

A sustentabilidade de soluções construtivas é um dos parâmetros considerados na avaliação da sustentabilidade global dos edifícios, pressupondo a sua utilização em bases de dados ou o conhecimento prévio das características de cada solução. Devido à especificidade das soluções

[11] *Doutorado em Engenharia do Ambiente, docente do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST e director do IPA.*

construtivas, a aplicação destes sistemas de avaliação, nem sempre é possível noutros países que não o de origem [3].

Os sistemas de avaliação referidos encontram-se sobretudo orientados para a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios numa perspectiva global, com áreas que vão desde a energia à qualidade do ar interior e onde, por reconhecimento da construção sustentável, se engloba a sustentabilidade de soluções construtivas. Contudo, a aplicação destes sistemas, sobretudo LEED, BREEAM e SBTool pressupõe a utilização de soluções construtivas que constam nas suas bases de dados, de acordo com a realidade do país que lhe deu origem [3].

Tabela 5 – Parâmetros consideradas no sistema LiderA (v2.01) [25].

Vertente	Princípio	Áreas	Peso (%)
Integração Local	Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração	Solo, paisagem e património, ecossistemas naturais	14
Recursos	Fomentar a eficiência no uso dos recursos	Energia, água, materiais, recursos alimentares	32
Cargas Ambientais	Reduzir o impacte das cargas (quer em valor, quer em toxicidade)	Efluentes, emissões atmosféricas, resíduos, ruído exterior, poluição ilumino-térmica	12
Conforto Ambiental	Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental	Qualidade do ar, conforto térmico, iluminação e acústica	15
Vivência Sócio-Económica	Fomentar as vivências sócio-económicas sustentáveis	Acesso para todos, custos ciclo de vida, diversidade económica, amenidades e interacção social, participação e controlo	19
Gestão Ambiental e Inovação	Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos	Gestão ambiental, inovação	8

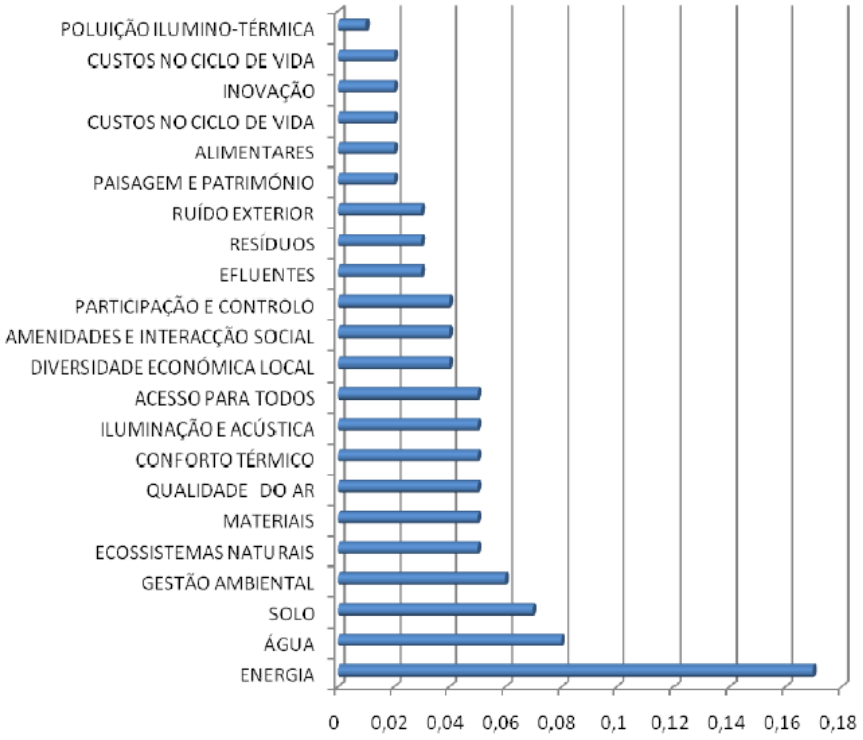


Figura 4 – Ponderação considerada para as 22 áreas do sistema LiderA (v2.01) [25].

2.3.5.1. Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade – MARS-SC

Da necessidade em adaptar os sistemas referidos às soluções construtivas nos edifícios em Portugal, surge, através dos trabalhos desenvolvidos pelo Dr. Luís Bragança[12] e o Eng.º. Ricardo Mateus[13], a MARS-SC – Metodologia Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, desenvolvida e validada através da sua aplicação a soluções convencionais e não convencionais da indústria de construção em Portugal. A sustentabilidade é então avaliada comparando o desempenho da solução em análise com o desempenho de outras soluções de potencial utilização num determinado elemento construtivo. Os resultados obtidos podem ser utilizados na aplicação dos sistemas de avaliação da sustentabilidade global dos edifícios e/ou servir de base aos decisores intervenientes nas fases preliminares à construção, com vista à selecção de soluções ambientalmente mais favoráveis [3].

A aplicação da metodologia assenta na análise do desempenho das soluções ao nível de três indicadores – ambiental, funcional e económico – desenvolvendo-se em distintas etapas (Figura A.1 do ANEXO A): a definição dos parâmetros (Tabela 6) e a sua quantificação, normalização dos parâmetros, agregação dos parâmetros e determinação da nota sustentável da solução com apresentação do perfil sustentável [3].

---

[12] Doutorado em Engenharia Civil na FEUP, docente na Universidade do Minho, titulado Especialista em Engenharia Acústica pela Ordem dos Engenheiros.
[13] Mestrado em Engenharia Civil na Universidade do Minho, onde exerce docência.

Tabela 6 – Descrição dos parâmetros e indicadores considerados na MARS-SC.

	Parâmetros		
	Ambiental	***Funcional***	***Económico***
Definição	avaliação dos efeitos potenciais das tecnologias construtivas sobre o meio ambiente apoiada em bases de dados da ACV dos materiais	avaliação da sustentabilidade ao nível das exigências fundacionais de cada elemento construtivo (parede interior ou exterior, pavimento, cobertura, *etc.*)	análise do CCV de um edifício pela quantificação dos diversos custos associados nas diferentes fases da construção
Indicadores	potencial de aquecimento global (PAG) energia primária incorporada (PEC) conteúdo reciclado potencial de reciclagem potencial de reutilização quantidade de recursos naturais utilizados quantidade de água incorporada toxicidade e acidificação	isolamento sonoro a sons de condução aérea isolamento sonoro a sons de percussão isolamento térmico durabilidade comportamento ao fogo estabilidade, flexibilidade e impermeabilidade comportamento sísmico inovação e desenho	– – custo de construção custo de manutenção custo de reabilitação custo de desmantelamento / demolição custo de tratamento para devolução ambiental valor residual

2.4. Concepção e Concurso de Projectos Verdes

As boas práticas contratuais são de crucial importância na redução do custo global dos projectos, na melhoria da eficiência económica da indústria da construção e para assegurar que a concepção do projecto cumpre os requisitos para os quais foi concebido, assegurando a qualidade da construção durante a vida útil [26].

As práticas de construção sustentáveis realizadas até aos nossos dias têm sido desenvolvidas de forma voluntária, mas pelo referido nos capítulos anteriores e pela legislação vigente a nível mundial, europeu e nacional, as mesmas tornar-se-ão relevantes e reflectir-se-ão cada vez mais na celebração de contratos e na concepção de projectos [1,27].

A concepção de edifícios auto-suficientes está a transformar a natureza do ambiente construído, assim como os sistemas implementados para o projecto e construção do produto, de acordo com os requisitos do cliente. É um sistema distinto do convencional na medida em que há uma selecção da equipa de projecto de acordo com a sua especialidade em construção sustentável, aumentando a colaboração e cooperação e dando maior ênfase à performance da construção. Paralelamente, evidencia-se a protecção ambiental em todas as fases de construção, primando pela saúde dos trabalhadores nessas mesmas fases, numa primeira instância, e dos ocupantes durante a fase de serviço do edificado [1,27].

A Coordenação de Projecto (CP), devido à intensidade das colaborações e trabalho de equipa que diferencia esta nova forma de projectar e construir, terá uma função essencial ao interligar e coordenar desde a fase inicial de projecto, as múltiplas e diferenciadas valências que participam no processo de projecto e de construção, com o objectivo de se atingir a máxima eficiência e menores custos. Pretende englobar diferentes especialidades de projecto como a arquitectura, sistemas eléctricos e de ventilação (natural e/ou artificial), arquitectura de interiores e/ou paisagística, que, numa participação conjunta, trabalham no sentido de conceber soluções altamente atractivas, eficientes e sustentáveis [1].

Os processos de concepção de projectos "verdes" são actualmente baseados nos processos convencionais, mas primam pela inclusão de elementos-chave que os impulsionarão para o futuro do planeamento e implementação de projectos na construção. As significantes melhorias nas áreas de colaboração e comunicação entre as equipas de projecto, muito devido à estruturação de uma CP, resultam numa maior qualidade do produto final, não apenas pelos seus atributos ambientais mas também pela qualidade de projecto e construção fomentada pelo conceito de construção sustentável [1].

A forma mais tradicional de celebração de contratação é aquela em que há uma maior separação física e independência entre as fases de um projecto de construção, pelo que todo o processo é separado em três (do ingês *Design-Bid-Build*): 1) concepção do projecto, 2) contratação/adjudicação, 3) construção. Numa primeira fase, a equipa de projecto, seleccionada pelo dono de obra, ficará responsável pela elaboração dos projectos e de documentação detalhada, que servirá de base à fase de concurso e posterior adjudicação. Apesar de teoricamente este procedimento estar associado a um menor custo do projecto de construção para o dono de obra (pela contratação de empreitadas – direcção de obra – e sub-empreitadas – trabalhos de qualificação específica) são frequentes os conflitos entre as várias partes referidas, que, aliados à falta de comunicação acabam por comprometer o processo de construção, conduzindo a maiores custos do projecto por introdução de alterações, dúvidas, erros, reparações ou mesmo acções judiciais [1,27,5].

Surgiram outros tipos de contratação de forma a minimizar as incompatibilidades, erros e omissões dos elementos produzidos naquelas diferentes fases, sendo pela adjudicação a uma entidade dos trabalhos de projecto e de construção (do inglês *Design&Build*) ou quando, num trabalho conjunto, a equipa de projecto e o director de obra, produzem os cadernos de encargos que vão de encontro aos requisitos do dono de obra, orçamento e planeamento para, numa fase posterior e por concurso público o director de obra adjudicar subempreitadas (do ingês *Negotiated Work*). Tais adjudicações terão como requisitos de selecção dos concorrentes as suas capacidades e qualificações específicas e, não necessariamente, a menor oferta em termos de custos [1,27,5].

O emergente sistema de concepção do edifício verde é uma variante deste último exemplo, mas com responsabilidades adicionais para a equipa de projecto, cujos membros deverão assumir grande capacidade de comunicação e coordenação, assim como assimilar os objectivos do projecto e as suas especificações exclusivas. Estes requisitos funcionais são exigidos e alargados à equipa de construção que deve ser qualificada adicionalmente no que se refere aos compromissos de implementação dos conceitos de construção sustentável, sobretudo aquando duma eventual certificação pelos sistemas

de avaliação e certificação (LEED, LiderA, etc), onde é exigida uma forte ligação com as respectivas normas e requisitos. A equipa de projecto deve ainda estar aberta à participação de diversos agentes, dependendo do tipo de projecto, mesmo que os referidos agentes não estejam habitualmente incluídos nos projectos de construção [1].

Das diferenças existentes entre a concepção convencional de edifícios e aquela que se pretende como construção sustentável, devem ser incluídas, por ou em associação com o dono de obra, após o planeamento e orçamentação, as seguintes fases de execução [1]:

- ✓ definição das prioridades do "projecto verde";
- ✓ selecção da equipa de projecto;
- ✓ implementação da CP, com orientação da equipa de projecto para o conceito e definição de estratégias para a sua implementação durante as fases de projecto e de construção;
- ✓ integração de várias entidades (clientes, comunidade em geral e outros agentes) além do dono de obra e equipa de projecto;
- ✓ execução do definido na CP: desenvolvimento do projecto, planeamento avançado e elaboração do caderno de encargos;
- ✓ implementação de medidas eco-eficientes no âmbito do solo e controlo de erosões, protecção de fauna e flora, reciclagem dos RCD;
- ✓ adjudicação e consignação da obra.

Figura 5 – Integração da Coordenação de Projecto desde cedo no processo de construção verde [1].

As directivas europeias[14] de contratação pública impulsionaram e clarificaram a forma como as entidades adjudicatárias podem maximizar a construção sustentável ao mesmo tempo que consideram as propostas economicamente mais vantajosas. Assim, e a nível nacional, o recente Código dos Contratos Públicos (CCP) realça e valoriza critérios ambientais a considerar na fase de preparação dos contratos, através do caderno de encargos [5,28,29].

Os procedimentos estipulados e reavaliados pelo CCP quanto à formação dos contratos adoptada pelas entidades adjudicatárias – ajuste directo, concurso público, concurso limitado por prévia qualificação, procedimento de negociação e diálogo concorrencial – apresentam o caderno de

[14] *Directivas nº 2004/17/CE e nº 2004/18/CE do Parlamento Europeu, datadas de 31 de Março.*

encargos como peça[15] comum exigida nos procedimentos de formação dos contratos. É um documento constituído pelo programa e projecto de execução, que visa definir a localização, a estética, os materiais e os métodos a aplicar no processo de construção do edifício e infra-estruturas, e onde devem constar [5,28]:

- ✓ especificações detalhadas das condições técnicas (processos de construção, equipamentos e trabalhadores);
- ✓ descrição dos trabalhos preparatórios e adicionais;
- ✓ listagem dos trabalhos necessários à execução do projecto, mapa de quantidades e orçamentação;
- ✓ sempre que necessário, devem ser incluídos no documento: estudos ambientais com respectiva declaração de impacte ambiental, assim como estudos de impacte social e económico ou cultural, e do plano de prevenção e gestão dos RCD.

[15] *Artigo 40º DL nº 18/2008*

III. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HÍDRICA

3.1. Introdução

Os edifícios têm um significativo impacto no uso de energia e consequentemente no ambiente. Edifícios comerciais e residenciais consomem cerca de 40% de energias primárias, e estes consumos, no sector da construção, tendem a crescer sobretudo porque a introdução (construção) de novos edifícios é efectuada mais rapidamente que a eliminação (demolição/degradação) dos edifícios velhos sobre o ambiente construído [30].

Tal perspectiva no aumento dos consumos de energia, especialmente nos edifícios comerciais, continuará a ser uma realidade até que os edifícios sejam projectados para equilibrar os consumos de energia, produzir tanta quanto necessária ao seu funcionamento/utilização [30].

Dados da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), datados de 2005, revelam que a energia importada no nosso país ronda os 87%, dos quais cerca de 59% é energia derivada do petróleo. Contudo, e tendo em conta a localização geográfica de Portugal, existe um potencial energético endógeno a explorar, isto é, a energia que o nosso território recebe diariamente proveniente do sol (Figura 6), do vento (Figura 7), das ondas do mar e da biomassa [31].

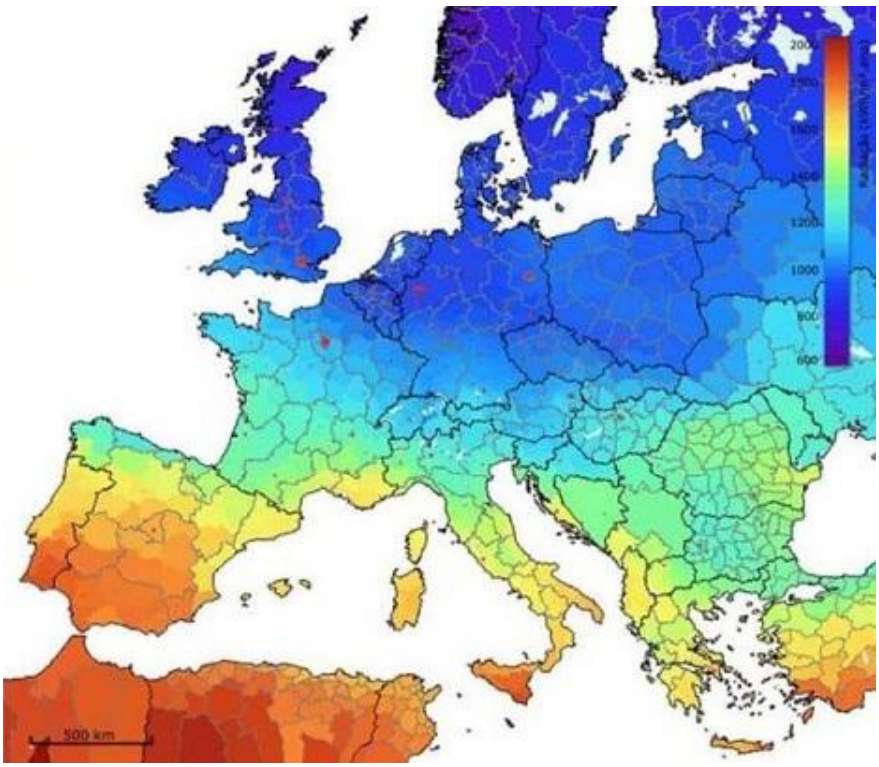


Figura 6 – Radiação solar incidente no continente Europeu (expressa em kWh/m².ano) [32].

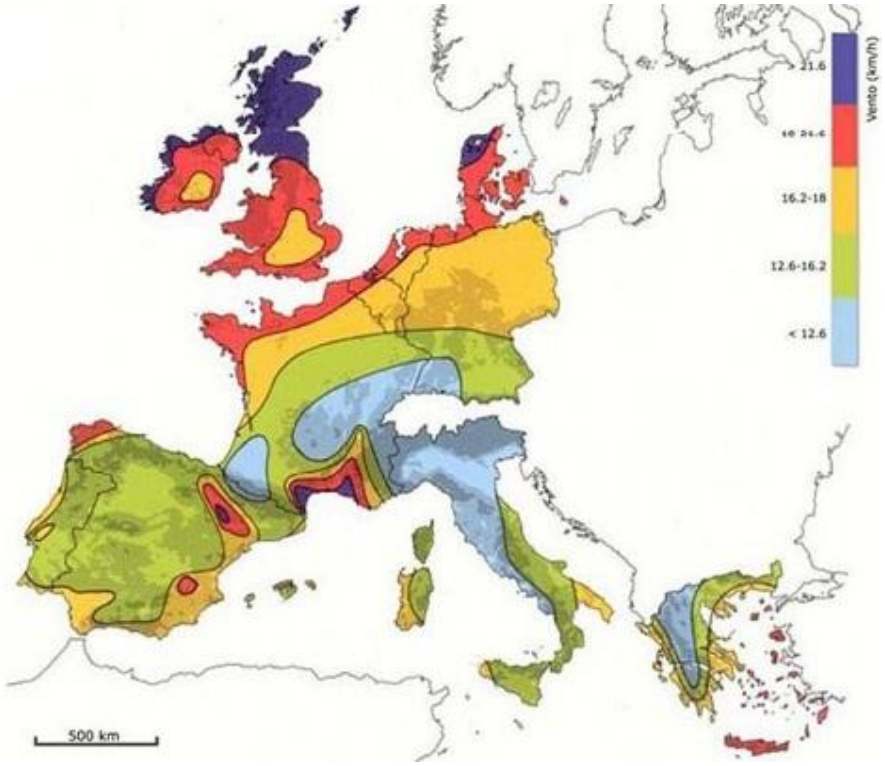


Figura 7 – Incidência do vento na Europa (expresso em km/h) [32].

Na construção de um edifício deve ter-se a preocupação de o tornar energeticamente eficiente, seja pelo simples recurso e aplicação da legislação actual, pela contribuição de conceitos bioclimáticos ou pela integração de tecnologias de energias renováveis; quando integrados de forma isolado ou conjugados, garantem-se ganhos não só económicos como ambientais.

Em termos de utilizações finais e de uma forma grosseira, os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se aproximadamente da seguinte forma (Figura 8): cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS) 50%, iluminação e equipamentos (electrodomésticos) 25%, aquecimento e arrefecimento 25%. [33].

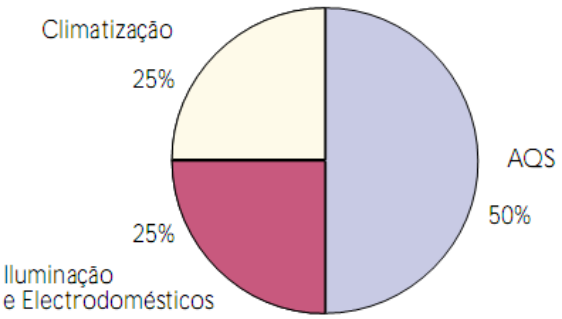


Figura 8 – Repartição dos consumos energéticos no sector residencial [33].

Os consumos associados a estes sectores provêm de comodidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos utilizadores de edifícios de habitação, e que se traduzem num acréscimo (também ele gradual) de investimento e, em geral, num maior consumo de energia e consequente aumento dos GEE. Como resultado desta situação, o crescimento médio anual dos consumos de energia em Portugal tem vindo a aumentar nos últimos anos, sendo que o sector da habitação representou, em 2005, cerca de 17% do consumo energético total [33,34].

Com tudo isto, é necessário ter a percepção dos edifícios actuais como centrais consumidoras e produtoras de energia, cujo balanço tende a ser nulo ou mesmo positivo – quando contemplada a alimentação da rede pública de distribuição de electricidade como resultado da produção excedentária dessa energia. Estes edifícios têm presentemente a designação de Edifícios de Energia Quase-Zero (do inglês *Near Zero Energy Buildings* – NZEB) [35].

Espera-se que, num futuro cada vez mais próximo e através do conceito NZEB, para além dos requisitos legais que minimizam as necessidades energéticas, sejam aumentadas de forma eficiente a produção descentralizada de energia do qual resultem "edifícios energeticamente autónomos" que satisfaçam as próprias necessidades com recurso maioritário a tecnologias de energia renovável [35].

3.2. Enquadramento Legal

A União Europeia tem procurado respostas, com a produção de medidas e planos estratégicos, acompanhadas por Directivas Europeias que pretendem ter um impacto grande ao nível da melhoria da Eficiência Energética dos Edifícios, do desenvolvimento das Energias Renováveis e da diminuição da emissão de gases com efeito de estufa [36].

Já em 1995, data de entrada em vigor da **Directiva 93/76/CEE (SAVE)** da então designada Comunidade Económica Europeia (CEE), actual Comunidade Europeia (CE) ou simplesmente União Europeia (UE), houve a preocupação e o objectivo de reduzir as emissões de CO_2 para a atmosfera como consequência do consumo de energia no sector da edificação. Surgia já implícita uma metodologia de Certificação Energética, contudo ainda sem especificações. O efeito desta directiva foi bastante reduzido, em boa medida devido à demasiada flexibilidade deixada na sua aplicação pelos Estados Membros (EM), responsáveis pelo desenvolvimento e implementação dos programas, apesar da obrigatoriedade de apresentação dos resultados das medidas adoptadas à comissão europeia, de dois em dois anos [37].

Surgiu, quase uma década depois, a **Directiva 2002/91/CE - Desempenho Energético dos Edifícios**[16], que introduziu um conjunto de medidas ao nível dos Estados Membros de importância fundamental para os Edifícios, nomeadamente um conjunto de "requisitos mínimos" de qualidade que se traduziu em todos os EM e em particular em Portugal, em novos regulamentos energéticos

[16] *do inglês* Energy Performance Building Directive – *EPBD.*

para edifícios, que impõem exigências no sentido de melhorar o seu conforto térmico e de qualidade do ar interior. Em suma, esta Directiva impõe aos EM da EU a Emissão de Certificados Energéticos para edifícios, assentando em quatro pilares [36,34,38]:

- ✓ Método de cálculo comum do desempenho energético integrado dos edifícios;
- ✓ Definição de padrões mínimos de desempenho energético em edifícios novos e existentes (que sejam objecto de renovações profundas);
- ✓ Certificação energética de edifícios novos e existentes;
- ✓ Inspecção regular de equipamentos de aquecimento e arrefecimento.

A Directiva nº 2002/91/CE foi transposta em 2006 para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei. **O Decreto-lei nº 78/2006**, de 4 de Abril, que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. O SCE é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e que se pretende venha a proporcionar economias significativas de energia para o país em geral e para os utilizadores dos edifícios, em particular. Em conjunto com os regulamentos técnicos aplicáveis aos edifícios de habitação (RCCTE, **DL 80/2006**, de 4 de Abril) e aos edifícios de serviços (RSECE, **DL 79/2006**, de 4 de Abril), o SCE define regras e métodos para a verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações, bem como aos imóveis já construídos [38].

O **Decreto-Lei n.º 78/2006** de 4 de Abril, **Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)**, tem por objectivos [39,37]:

- ✓ Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade ar interior (de acordo com o RCCTE e o RSECE);
- ✓ Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- ✓ Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos;

O **Decreto-Lei n.º 79/2006** de 4 Abril, **Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE)**, que estabelece [40,37]:

- ✓ As condições de projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos em termos de conforto térmico, renovação, tratamento e qualidade do ar interior, que devem ser assegurados através da selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;
- ✓ Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nos mesmos;

- ✓ Os termos de concepção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal;
- ✓ As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior.

O **Decreto-Lei n.º 80/2006**, de 4 Abril, **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**, indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo a que [41,37]:

- ✓ As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de AQS, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- ✓ Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacte negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

A **Directiva 2006/32/CE**, de 5 de Abril, relativa à **Eficiência na Utilização Final de Energia e Serviços Energéticos** tem por objectivo aumentar a eficiência do uso final da energia e aplica-se aos distribuidores de energia, operadores de sistemas de distribuição e empresas de venda de energia, bem como aos utilizadores finais. Para além disto, esta Directiva incita a promoção dos alvos, dos mecanismos, dos incentivos e quadros institucionais, financeiros e legais necessários para derrubar as actuais barreiras e imperfeições do mercado que impedem o uso eficiente da energia. Pretende igualmente criar as condições necessárias ao desenvolvimento e promoção de um mercado que forneça, aos utilizadores finais, serviços de energia e métodos de uso mais eficientes de energia [42,37].

Assim, nesta Directiva, ficou estabelecida a necessidade dos EM publicarem o Plano de Acção para a Eficiência Energética, estabelecendo metas de redução de pelo menos 1% de poupança de energia por ano até 2016. Os EM devem assim assegurar a disponibilidade de esquemas de autoria de energia eficazes e de alta qualidade, concebidos para identificar medidas de aumento da eficiência energética que sejam levadas a cabo de forma independente, para todos os consumidores finais, incluindo clientes particulares, comerciais e PME's [43,34].

Neste âmbito, assume igualmente especial relevância o **Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE)** - Portugal Eficiência 2015, aprovado pela **Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008**, de 20 de Maio, que contempla um conjunto de medidas com o objectivo de alcançar, até 2015, uma melhoria da eficiência energética equivalente a 10 % do consumo final de energia, antecipando o prazo e ultrapassando a meta previstos na Directiva n.º 2006/32/CE [37,43].

O PNAEE, orientado para a gestão da procura energética, está em articulação com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros

n.º 119/2004, de 31 de Julho, revisto pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto, e com o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008, de 4 de Janeiro. O PNAEE contempla quatro áreas específicas de actuação: transportes, residencial e serviços, indústria e Estado, e estabelece três áreas transversais de actuação - comportamentos, fiscalidade, incentivos e financiamentos. Dentro destas áreas, a área do Estado, em particular, compreende um conjunto de medidas que inclui: a certificação energética dos edifícios do Estado; a introdução de critérios de eficiência energética na aquisição de equipamentos; a limitação a edifícios de classe eficiente nas aquisições de novos edifícios para o Estado; o cumprimento de requisitos mínimos de eficiência energética para novas instalações. Estas medidas constam da lista de medidas elegíveis previstas no anexo VI da Directiva n.º 2006/32/CE. O PNAEE contempla, por fim, a criação de um fundo, denominado Fundo de Eficiência Energética, conforme previsto no artigo 11.º desta Directiva [37,43].

A estratégia de Portugal para o compromisso assumido pelos EM face às Directivas Europeias e à própria legislação nacional em vigor, revela pretensões em "assegurar a posição de Portugal entre os cinco líderes europeus ao nível dos objectivos em matéria de energias renováveis em 2020 (…)"; na concretização de tal desígnio, foi aprovada a Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010, de 15 de Abril, que aprova a **Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020)**. Esta Estratégia define uma agenda para a competitividade, para o crescimento e para a independência energética e financeira do País e estabelece como principais metas a redução da dependência energética face ao exterior para 74% em 2020 e a produção, nesta data, de 31% da energia final a partir de recursos endógenos. A ENE 2020 assenta sobre cinco eixos principais [43]

- ✓ competitividade, crescimento e independência energética e financeira;
- ✓ aposta nas energias renováveis;
- ✓ promoção da eficiência energética;
- ✓ garantia da segurança de abastecimento;
- ✓ promoção da Sustentabilidade Económica e Ambiental.

A implementação desta estratégia permitirá a Portugal cumprir os compromissos assumidos no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, onde se incluiu a redução do consumo de energia final e de emissões em 20%. Estima-se, ainda, que em 2020, 60% da electricidade produzida tenha origem em fontes renováveis. A promoção do desenvolvimento sustentável criará condições para reduzir adicionalmente, no horizonte de 2020, 20 milhões de toneladas de emissões de CO2 [43].

Existem ainda outros diplomas em vigor na área da eficiência energética que incluem já disposições relevantes no âmbito de aplicação da Directiva n.º 2006/32/CE, nomeadamente o **Decreto-Lei n.º 71/2008**, de 15 de Abril, que criou o **Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE)**, que tem como objectivo promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia e que prevê mecanismos de reconhecimento de técnicos e de entidades como auditores energéticos e autores de planos de racionalização dos consumos. O SGCIE contempla, ainda, a realização de auditorias de energia com

carácter obrigatório, incidindo sobre as condições de utilização de energia, concepção e estado da instalação, tal como previsto no artigo 12.º da Directiva n.º 2006/32/CE [37].

Recentemente, em Maio de 2010, foi adoptada a revisão da Directiva de 2002 no sentido de fortalecer e clarificar os requisitos de desempenho energético nos edifícios. Na verificação de que muitos dos EM implementaram objectivos pouco ambiciosos e que outros não completaram essa mesma implementação da Directiva, em Novembro de 2008 a Comissão repensou a EPBD cuja proposta foi alvo de processos de aprovação durante o ano de 2009. Com isto a **Directiva 2010/31/EU, de 19 de Maio** confirma a importância da implementação efectiva a nível dos EM e da cooperação da EU no alcance dos compromissos a longo-prazo. Como grandes objectivos deste novo diploma salientam-se metas e planos ambiciosos para recuperação do parque edificado (mais amplo e abrangente) e a meta de Edifícios de Emissão Quase Zero para todos os construídos a partir de 2020.

3.3. Conceitos Bioclimáticos e de Design Passivo

A construção de edifícios, sector chave para o desenvolvimento industrial, foi um dos primeiros objectos de estudo no campo da adequação ambiental. Para esse facto contribuíram, sobretudo a partir da crise energética evidenciada nos anos ’70, muitos anos de trabalhos de investigação e aplicações práticas decorridas, em paralelo, com as demais reflexões realizadas numa lógica de conservação ambiental e desenvolvimento sustentável [44].

A “Arquitectura Bioclimática” ou “Arquitectura Solar Passiva” pode ser definida como uma arquitectura que, na sua concepção, aborda o clima como uma variável importante no processo de projectar. Assim, mais importante que a denominação, são os princípios e conceitos fundamentais que visam compreender quais as variáveis climáticas existentes no local (sol, vento, água) e como essas variáveis podem interagir com o edifício de forma positiva e propiciar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço [45].

Se, com a sua ascensão, os primeiros projectos estavam associados exclusivamente às poupanças de energia, actualmente o conceito evoluiu para a compreensão de um processo activo, onde as questões de poupança energética são mais um factor a ter em conta. A adequação ambiental deverá assim ser tomada como um sistema mais amplo, inter-agente com o meio ambiente não só focado na factura energética, mas abordando também factores estéticos e funcionais [44].

Do ambiente construído, projectado e avaliado, existem actualmente exemplos suficientes capazes de traduzir a qualidade ambiental de edifícios construídos com base nos princípios básicos de “construção com o clima”, demonstrando de igual modo a sua viabilidade económica. Diferentes estudos avaliam uma capacidade de economia da factura energética na ordem dos 70% aquando de soluções arquitectónicas pensadas numa lógica de adaptação e adequação ao clima, quando comparadas com os procedimentos convencionais da construção tradicional [44].

No Inverno, havendo três zonas climáticas definidas para Portugal Continental (I1, I2, I3) interessa como estratégias principais, isolar a envolvente dos edifícios, salvaguardar excessos de infiltrações de ar frio exterior e promover os ganhos solares. Estas estratégias terão maior preponderância em zonas climáticas I3 [45].

No Verão, as três zonas climáticas (V1, V2, V3) também apresentam características comuns, ainda que com severidades distintas, onde as estratégias a implementar passam principalmente pela restrição dos ganhos solares e a promoção da ventilação natural [45].

Uma estratégia comum às estações de aquecimento e arrefecimento é a adopção de soluções construtivas de inércia elevada, no sentido de se estabilizar a temperatura interior e, portanto, de se minimizarem situações de sobreaquecimento no Verão e atingir um correcto aproveitamento dos ganhos solares no Inverno [45].

Além das referidas são sugeridas e sintetizadas, na Tabela 7 e Tabela 8, estratégias específicas e complementares, contributivas para a melhoria do desempenho global dos edifícios, passíveis de serem implementadas em edifícios das diferentes regiões de Portugal (cuja aplicação prática dependerá sempre da severidade climática – Figura A.2 no ANEXO A).

Tabela 7 – Síntese das estratégias passivas relativas às necessidades de aquecimento (adaptado de [45]).

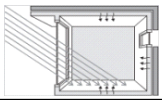
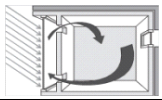
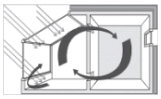
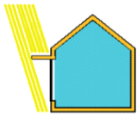
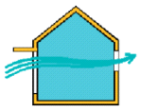
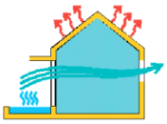
Inverno - Estação de Aquecimento			
		Sistemas Passivos	
Estratégias Bioclimáticas	promover ganhos solares	GANHO DIRECTO 	• promove o aquecimento rápido do espaço (vãos envidraçados preferencialmente expostos ao quadrante Sul).
		GANHO INDIRECTO 	• absorção de energia solar durante o dia (através da parede estrutural), com efeito no período nocturno (e.g. Paredes de Trombe).
		GANHO ISOLADO 	• ganhos desfasados através de estufas (comportamento similar ao das Paredes de Trombe), embora com a necessidade de desactivação na estação quente. • ganhos separados através de colectores de ar e introdução de ar quente (pré-aquecimento do ar exterior) em espaços com necessidade de renovação do ar.
	promover inércia forte		• paredes pesadas com isolamento pelo exterior - estratégia de maior importância nas zonas do interior continental devido às elevadas amplitudes térmicas.
	restringir perdas por condução		• isolamento adequado da envolvente.

Tabela 8 – Síntese das estratégias passivas relativas às necessidades de arrefecimento (adaptado de [45]).

Verão - Estação de Arrefecimento			
		Sistemas Passivos	
Estratégias Bioclimáticas	restringir ganhos solares		• sombreamento de envidraçados ou utilização de vidros reflectantes associados a sistemas de sombreamento interior.
	promover soluções de arrefecimento natural		• ventilação natural do interior por diferenças de pressão e temperatura interior-exterior, ou por acção directa do vento.
			• arrefecimento por contacto directo (através do pavimento, paredes ou mesmo cobertura) ou indirecto com o solo; sistemas que dependem da dimensão das condutas e da profundidade a que se encontram (temperatura a que se encontra o solo).
			• arrefecimento evaporativo (mudança de fase da água - e.g. presente em fontes ou espelhos de água) e radiativo (através dos elementos da envolvente exterior).
	promover inércia forte		• paredes pesadas com isolamento pelo exterior - estratégia de maior importância nas zonas do interior continental devido às elevadas amplitudes térmicas.
	restringir perdas por condução		• isolamento adequado da envolvente.

3.4. Tecnologias de Energia Renovável

As tecnologias que se seguem podem ser divididas em [35]:

- ✓ **componente activa renovável** – constituída por todos os elementos que funcionam em sistema de produção de energia eléctrica, térmica ou ambas, como complemento das necessidades energéticas não satisfeitas pela componente passiva, permitindo o alcance de balanços energéticos aproximadamente nulos – como sendo a energia solar fotovoltaica, a energia solar térmica e a energia eólica;
- ✓ **componente activa complementar** – tecnologias – como sendo a energia geotérmica e a energia de biomassa – que contribuem para o objectivo final de menor consumo de energia global dos edifícios, sendo garantidas a partir de formas de calor e electricidade renováveis ou recuperadas.

3.4.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Um painel fotovoltaico é um dispositivo capaz de converter a energia solar directamente em electricidade. A unidade básica de um módulo fotovoltaico é a célula fotovoltaica. A versão mais utilizada é formada por uma placa de material semicondutor em silíco monocristalino, cujo tamanho pode ir de 10 a 15 centímetros [34,46]. Os diferentes tipos de unidades que formam os distintos painéis fotovoltaicos estão caracterizados na Figura 9:

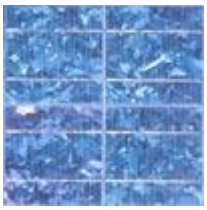
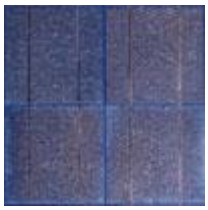
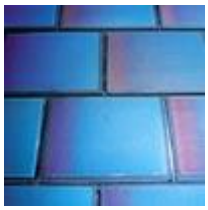
a) b)  c)  d) 

Figura 9 – Diferentes tipos de células fotovoltaicas:
a) monocristalino, b) policristalino, c) película espessa, d) película fina [46].

O desempenho energético dos painéis fotovoltaicos varia consoante a luz solar disponível e a inclinação dos módulos (Figura 10), sendo a eficiência de conversão da ordem dos 15%. O nosso país, devido às suas características climáticas, possui excelentes condições para a conversão fotovoltaica, com índices de produção entre 1 e 1,7 kWh por ano, por cada Watt-pico (Wp) instalado [34,46].

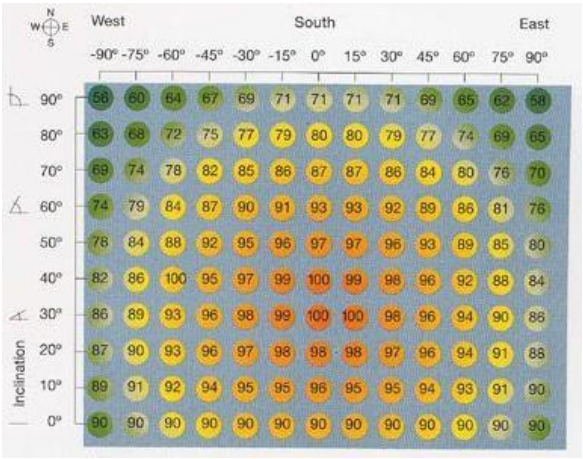


Figura 10 – Optimização do rendimento de um painel fotovoltaico mediante a sua orientação e inclinação [46].

Apesar do elevado custo de investimento é, entre os equipamentos de energia renovável, dos que maior durabilidade apresenta, para além da maior facilidade de integração, instalação, controlo e manutenção em edifícios (designados por BIPV, do inglês *Building Integrated Photovoltaic*) [35].

Como prova da divulgação e desenvolvimento desta tecnologia foram já estudados e contemplados a integração de painéis fotovoltaicos em fachadas, nomeadamente no projecto Solar XXI desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e coordenado pelo Eng.º Hélder Gonçalves. Entre a integração de demais tecnologias renováveis – *e.g.* energia solar térmica – e de sistemas passivos de climatização, neste projecto está contemplado um sistema fotovoltaico integrado na fachada a sul do edifício (Figura 11) para aproveitamento eléctrico (100m^2 e 12kWp) substituindo os elementos construtivos de revestimento.

a) b)

Figura 11 – Fachada sul do edifício concebido no âmbito do projecto Solar XXI (a) e pormenorização do painel fotovoltaico integrado na fachada (b)

Desenvolvimentos recentes originaram painéis fotovoltaicos que, à semelhança do girassol, acompanham a trajectória do sol, permitindo optimizar e maximizar os rendimentos diários dos painéis.

No que diz respeito às questões estéticas, e numa tentativa de minimizar a agressividade visual que os painéis fotovoltaicos possam embutir num edifício, foi já pensado por uma empresa portuguesa a harmonização destes com telhas cerâmicas utilizadas em coberturas inclinadas, através de um encaixe específico e inovador.

3.4.2. ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Imposta a obrigatoriedade dos sistemas solares térmicos no âmbito do novo RCCTE e da correspondente certificação energética dos edifícios (*vd.* 3.2), aliada a programas[17] de incentivo e promoção, a tecnologia de AQS com recurso a fontes renováveis (energia solar) atingiu níveis de fiabilidade e desenvolvimento que permitem a sua utilização de forma eficiente, apesar do ainda escasso aproveitamento da energia solar em Portugal [34,35].

[17] *Iniciativa Pública "Água Quente Solar para Portugal" resultante do Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas – aprovado em Resolução de Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro.*

Um painel solar (ou colector solar) é um dispositivo que converte a energia solar em energia térmica. Em termos gerais, o sistema completo é constituído por um painel que recebe a luz do sol, composto por um permutador em que o fluido de aquecimento circula e um depósito em que a água quente é armazenada (Figura 12) [46].

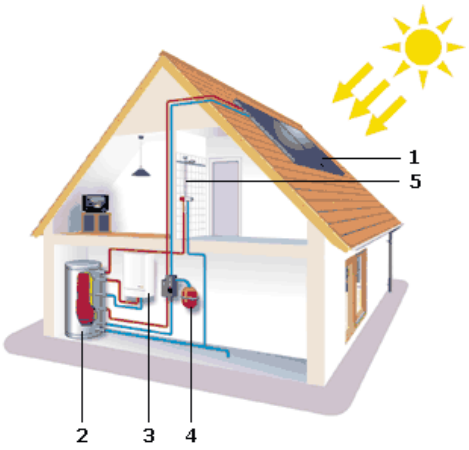


Figura 12 – Esquema de uma unidade de produção de AQS por sistema de painéis solares:
1 – colectores solares; 2 – depósito acumulador; 3 – caldeira; 4 – vaso de expansão; 5 – saída de água quente.

Para optimizar o retorno do investimento, os painéis solares deverão ter uma dimensão adequada para preencher as necessidades de água quente do lar com a energia solar disponível no Verão. Isto significa que só são preenchidas cerca de 70% das necessidades, uma vez que seriam necessários painéis solares maiores para obter a mesma energia no Inverno. No entanto, a escolha do tamanho dos painéis solares em função das necessidades de energia durante os meses de Inverno resulta num excedente de energia durante o Verão, constituindo um desperdício. Assim, os sistemas solares necessitam de apoio de sistemas convencionais para a produção de água quente (caldeira a gás, caldeira de gasóleo, *etc.*) [34,46].

3.4.3. ENERGIA EÓLICA

A energia eólica, passível de ser utilizada para produção de energia eléctrica doméstica, traduz-se, conforme esquematizado na Figura 13 pela acção e energia do vento (energia cinética), fazendo girar as pás da turbina que por sua vez fazem rodar um eixo (energia mecânica); o eixo põe em funcionamento o gerador, no qual os campos magnéticos convertem a energia rotacional em electricidade [34,46].

Existem turbinas de vários tamanhos e de várias potências, sendo que aquelas passíveis de integração em edifícios variam comercialmente entre os 1 kW e os 50 kW (potência suficiente para satisfazer as necessidades energéticas do edifício desde que existam condições favoráveis à aplicação do equipamento) [35].

A aplicação urbana desta tecnologia enfrenta desafios como os padrões irregulares do vento (característicos e mais acentuados em ambiente urbano) e os elevados custos de manutenção. Assim, o sucesso da sua aplicação dependerá da correcta avaliação do recurso disponível, da escolha do tipo de turbina e da sua instalação [35].

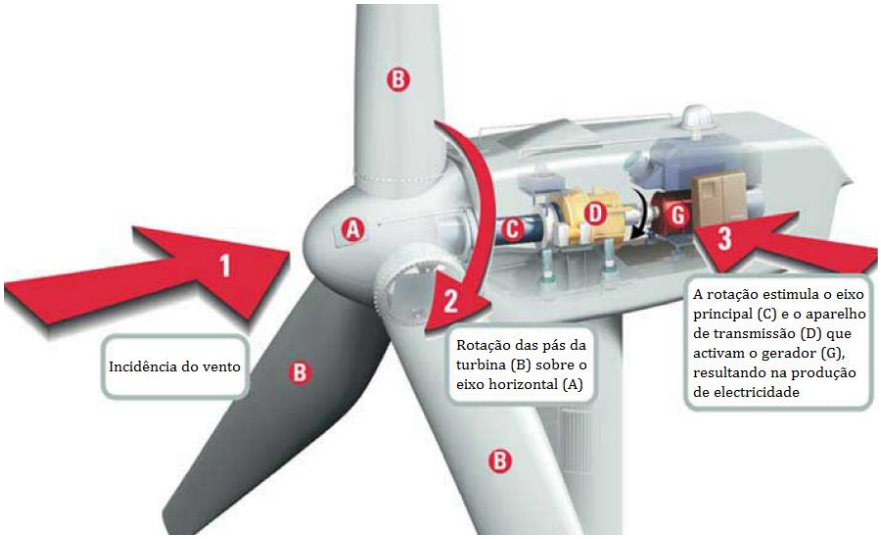


Figura 13 – Funcionamento elementar das micro-turbinas eólicas (eixo horizontal) [46].

Ao contrário do que se verifica, por razões óbvias, nas tecnologias de produção energia solar fotovoltaica, a energia eólica é produzida predominantemente no período nocturno, teoricamente nas horas de vazio das necessidades energéticas. Desta forma, e de um ponto de vista de interacção com a rede eléctrica pública (micro-geração), aumenta a necessidade de sistemas de armazenamento de energia produzida, diminuindo a rentabilidade global do sistema [35].

Está actualmente em desenvolvimento, com coordenação do LNEG, o projecto *T.Urban* que pretende dar o seu contributo, no contexto da micro-geração, para a existência de edifícios e áreas urbanas energeticamente sustentáveis. É um projecto que aposta na simplicidade de instalação (estrutural e eléctrica, por parte do próprio consumidor) e no sucesso da integração nas áreas urbanas modernas [47].

Actualmente já com protótipos desenvolvidos das micro-turbinas *T.Urban-H* e *T.Urban-V* (Figura 14), respectivamente de eixo horizontal (com pás de 2,3m de diâmetro e potência nominal de 2,5kW) e vertical (2,0m e 2,0kW), caracterizam-se por sistemas de controlo especificamente concebidos para operação em paralelo com a rede. Na mesma figura, está também representado o protótipo em desenvolvimento pelo mesmo projecto de uma micro-turbina mas de rotação helicoidal [47].

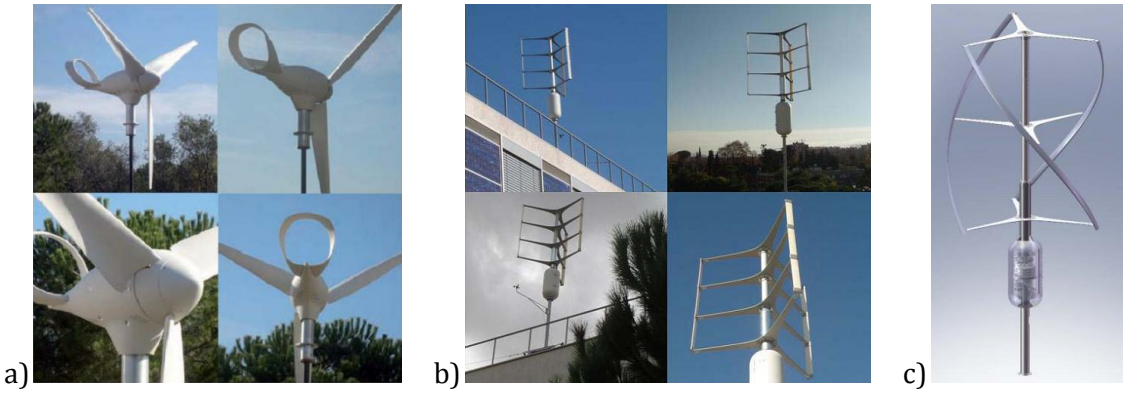


Figura 14 – Protótipos das micro-turbinas desenvolvidas no âmbito do projecto T.Urban: a) T.Urban-H de eixo horizontal; b) T.Urban-V de eixo vertical; c) micro-turbina helicoidal [47].

3.4.4. ENERGIA GEOTÉRMICA

A terra possui uma elevada inércia térmica, constituindo um enorme acumulador de energia solar sob a forma térmica. À profundidade de 5 m a temperatura é de aproximadamente 15 ºC, sendo estável todo o ano. Existe assim uma quantidade enorme de energia disponível que pode ser aproveitada para a satisfação das necessidades térmicas [34]. As bombas de calor com aproveitamento da energia geotérmica (do inglês *Ground Source Heat Pump* – GSHP) são sistemas que extraem o calor do solo e o potenciam a temperaturas mais elevadas para produção de AQS e/ou climatização de espaço. A captação dessa energia é conseguida através de circuitos de tubagens enterradas onde circula um fluido de transferência (Figura 15), geralmente água (pode ser proveniente de cursos de água naturais ou águas residuais) e um aditivo anti-congelante [46].

A funcionalidade destes GSHPs pode, contudo, ser reversível caso se considerem efeitos de arrefecimento do espaço. Assim, na estação fria a energia é libertada para o espaço a aquecer através de uma bomba de calor. Na estação quente dá-se o processo inverso, sendo o excesso de calor do espaço a arrefecer transferido para o solo [34,46].

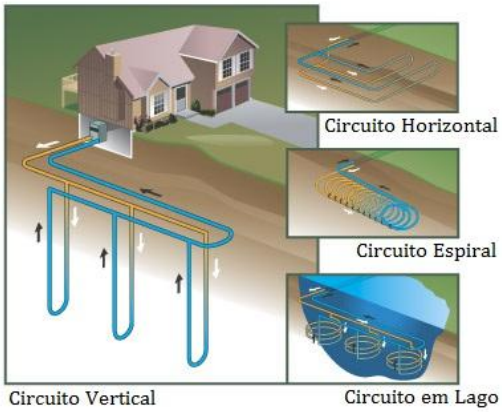


Figura 15 – Diferentes tipos de tubagem enterrada para geração de energia geotérmica [46].

Trata-se de uma tecnologia altamente padronizada e comprovada, de fácil manutenção, cujo principal problema reside no facto do consumo ocorrer nas horas de ponta da rede eléctrica. Esta tecnologia de uso crescente (juntamente com as bombas de calor que simplesmente aproveitam o ar exterior para captar ou libertar energia), tem na sua composição um compressor eléctrico que comprime o fluído frigogénico que muda de fase para transportar a energia térmica. Encontram-se actualmente no mercado equipamentos com eficiências nominais entre os 300 e 600%, rendimento que não depende do clima, com os quais se pode poupar cerca de 44% de electricidade face às alternativas convencionais [35].

As bombas de calor geotérmicas podem revelar-se uma tecnologia altamente eficiente de aquecimento do ar interior quando projectadas em conjunto com sistemas de piso radiante de baixa energia. Alguns fabricantes desta tecnologia reclamam que por cada kW de electricidade utilizada no funcionamento da bomba de calor são produzidos entre 3 a 4 kW de calor [46].

Quanto maior for o gradiente entre a temperatura do fluido e a do meio exterior, maior será a eficiência do sistema. Tal eficiência é medida pelo coeficiente de desempenho, designado por COP (do inglês *Coefficient of Performance*), que expressa a quantidade de energia que é cedida ao consumo por cada unidade de energia eléctrica consumida pela bomba de calor [34].

Estes sistemas encontram-se muito pouco difundidos no nosso país, sendo penalizados pelos elevados custos de instalação. Por esta razão, o investimento só é rentável em circunstâncias favoráveis muito específicas [34]. Apesar do custo superior, o período de retorno é de 5 a 10 anos, para um período de vida útil de 50 anos para os componentes no solo e 25 anos para os restantes [35].

3.4.5. ENERGIA DA BIOMASSA

Por biomassa entende-se a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias conexas, bem como dos resíduos industriais e urbanos susceptíveis de aproveitamento energético. Do seu uso mais comum, o melhor implementado é o aproveitamento das lenhas em vivendas unifamiliares, representando cerca de 36% do consumo de energia final para aquecimento ambiente e produção de AQS. A utilização da biomassa para aquecimento ambiente, motivou o aparecimento de equipamentos modernos, eficientes e versáteis (fogões e caldeiras). [34].

Os *pellets* ou grânulos de combustível (Figura 16), por exemplo, são formados por resíduos de serrações e do processamento de madeiras (aparas de madeira e serradura) reduzidos a pequenos grânulos comprimidos, originaram uma vulgarização dos recuperadores de calor (e demais equipamento de aquecimento a biomassa) em todas as tipologias de edifícios. Estes equipamentos apresentam elevados rendimentos na produção de calor, dispondo de funcionalidades como o controle de temperatura, alimentação automática, compactação automática das cinzas, ausência de produção de fumos, *etc*. Para além disso, é um combustível mais barato e ecológico que os convencionais, sendo por isso uma solução muito vantajosa do ponto de vista económico na sua utilização em relação a outras formas de energia, colocando-os como uma solução muito atractiva de aquecimento. Em Portugal existe também um sector industrial em expansão dedicado à produção,

preparação e distribuição destes combustíveis nas condições mais adequadas para a sua utilização [34].

Figura 16 – *Pellets* utilizados como combustível em recuperadores de calor [46].

Uma instalação de aquecimento a biomassa apresenta como vantagens comparativamente com os combustíveis convencionais a maior segurança de utilização, apresentando como desvantagens a necessidade de remoção periódica das cinzas produzidas e de um local de armazenamento para a biomassa. Deve ser levada em consideração a instalação de fogões de sala com queima de *pellets* na reabilitação de edifícios de forma a torná-los mais eficientes em termos energéticos [34].

3.4.6. UTILIZAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA

A utilização racional de energia (URE) visa proporcionar o mesmo nível de produção de bens, serviços e de conforto através de tecnologias que reduzem os consumos face a soluções convencionais. A URE pode conduzir a reduções substanciais do consumo de energia e das emissões de poluentes associadas à sua conversão. Em muitas situações a URE pode também conduzir a uma elevada economia nos custos do ciclo de vida dos equipamentos utilizadores de energia (custo inicial mais custo de funcionamento ao longo da vida útil). Embora geralmente sejam mais dispendiosos, em termos de custo inicial, os equipamentos mais eficientes consomem menos energia, conduzindo a custos de funcionamento mais reduzidos e apresentando outras vantagens adicionais [48].

O actual modelo de produção e transporte de energia baseia-se numa lógica de centralização. Em Portugal, a produção eléctrica a partir de centrais térmicas e como resultado da queima de combustíveis fósseis (fuel, carvão, gás natural) tem um peso dominante, representando para o país uma pesada factura económica e ambiental. Esta descentralização da produção de electricidade caracteriza-se e acarreta grandes problemas, tais como [49]:

- ✓ Sistema de distribuição de alta voltagem;
- ✓ Potência reactiva;
- ✓ Maior vulnerabilidade do sistema;

- ✓ Elevadas perdas na rede e grande desperdício de energia, que resulta em poluição ambiental, muito devido à produção bastante afastada do local de consumo;
- ✓ Dificuldades na adaptação da relação produção/consumo.

O desenvolvimento de redes inteligentes (do inglês *SmartGrid*), conceito que ascende em toda a Europa, pretende-se aumentar a fiabilidade das redes de distribuição, as designadas Redes Eléctricas de Serviço Público (RESP), por aproximação/optimização da produção com o consumo. Neste contexto, as tecnologias de energias renováveis assumem um papel preponderante. Apesar de existirem diversas definições, rede inteligente poderá ser definida como uma rede de transmissão e distribuição de electricidade que usa um sentido bidireccional, comunicações de banda larga, sensores e computação no sentido de melhorar a eficiência, fiabilidade e a segurança do abastecimento (Figura 17) [49].

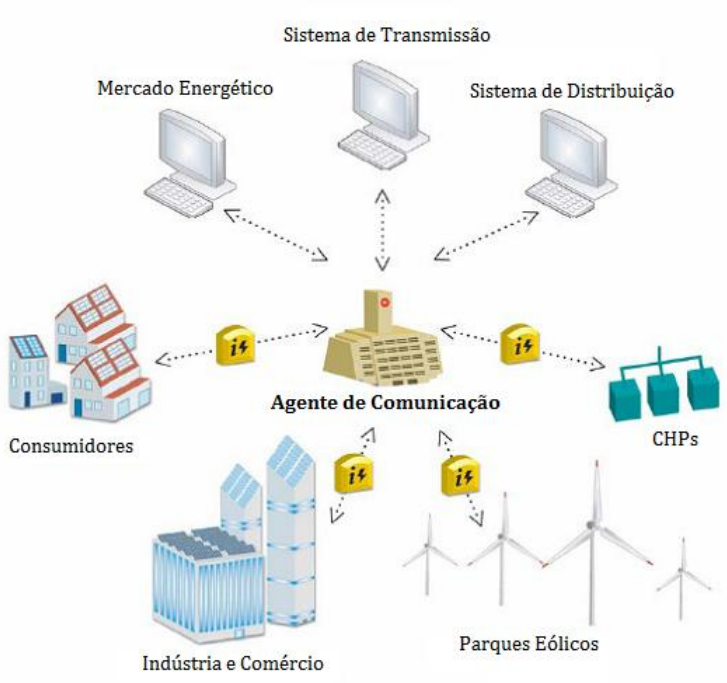


Figura 17 – Esquematização de uma *SmartGrid* [49].

Os processos de produção de energia eléctrica a partir de combustíveis fósseis criam uma grande quantidade de energia térmica residual. Em média, cerca de 2/3 da energia contida no combustível, é libertada sob a forma de energia térmica. Se o processo de geração se realizar no local de consumo, ou próximo deste, a energia térmica que normalmente é desperdiçada pode ser aproveitada para produção de vapor, aquecimento de água ou de ar, ou para satisfação de outras necessidades de índole térmica. A cogeração é uma tecnologia que aumenta significativamente a eficiência de conversão dos recursos energéticos, ao mesmo tempo que reduz as emissões globais e os custos de operação em mais de 40% [48].

De forma complementar à cogeração existe ainda a possibilidade de utilizar a energia térmica recuperada (vapor a baixa pressão, água quente até 95ºC) para a produção de frio industrial ou para

climatização por recurso a sistemas de absorção, aproveitando os excedentes energéticos sob a forma de vapor, água quente ou aproveitando directamente os gases de escape. O termo normalmente utilizado para definir esta aplicação é trigeração, produção combinada de energia eléctrica, calor e frio. Estes sistemas de trigeração têm vindo a ser utilizados sobretudo no sector terciário (serviços), em processos de climatização [48].

3.4.6.1. Microgeração em Portugal

A microgeração consiste na produção descentralizada de energia em pequenas potências. A produção energética incorpora as componentes de calor e electricidade, com emissões de carbono neutras ou baixas, em pequena escala, numa lógica de satisfação do auto-consumo. A necessidade de redução das emissões no campo da produção de electricidade, os recentes desenvolvimentos no domínio da micro-geração e *smartgrids* e a reestruturação do negócio da electricidade são os principais factores responsáveis pelo crescente interesse do uso da micro-geração [49].

A designada micro-geração ou micro-produção pode traduzir-se numa significativa limitação nas emissões de CO2, não só através de uma maior utilização das energias renováveis, mas também pelo aproveitamento dos excessos de calor provenientes da geração de electricidade ou combustível renovável, e pela diminuição das perdas na transmissão de energia eléctrica e sistema de distribuição. No sentido de potencializar o sistema de electricidade em Portugal e no Mundo, as unidades devem ser instaladas à "responsabilidade" dos consumidores; tal exigirá uma nova abordagem altamente descentralizada nas estratégias políticas sobre a eficiência energética. Além disso, deverá ser desenvolvida uma nova compreensão da interacção entre a tecnologia da micro-geração e uma infinidade de potenciais utilizadores finais (público em geral) [50].

Em Portugal, a aprovação do Decreto-Lei nº 363/2007, publicado a 2 de Novembro, que institui o regime das "Renováveis na Hora", facilita o acesso dos consumidores à tecnologia supracitada. Assim, sob as regras definidas no diploma, um consumidor doméstico de electricidade poderá tornar-se, ele próprio, produtor de electricidade [51,52,34]. No cumprimento dos objectivos traçados pela ENE2020 (*vd.* 3.2), revelara-se importante o incentivo à produção descentralizada de electricidade em baixa tensão por particulares; assim, o programa de microprodução iniciado em 2007 traduziu um sucesso significativo – foram instaladas mais de 5400 unidades de microprodução, correspondentes a cerca de 19MW (Mega-Watts) de potência instalada, em pouco mais de dois anos de aplicação do sistema [53].

Foram recentemente introduzidas algumas alterações ao diploma ao abrigo do Decreto-Lei nº 118-A/2010, de 25 de Outubro, criando condições para produzir mais electricidade em baixa tensão, de forma mais simples, mais transparente e em condições mais favoráveis [53]

São praticados o regime geral e o regime bonificado. O primeiro aplica-se à generalidade das instalações, ao passo que o segundo se aplica apenas às fontes renováveis de energia, cujo acesso é condicionado à existência, no local de consumo, de colectores solares térmicos para aquecimento de AQS com um mínimo de 2m² de área de colectores (no caso de produtores individuais) e da realização de auditoria energética e respectivas medidas (no caso de condomínios). Este regime

permite que os particulares possam instalar sistemas de produção de electricidade a partir de fontes de energia renovável, usando a electricidade produzida para seu auto-consumo e vendendo o excedente para a Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP) [51,52,34].

Podem ser instalações solares fotovoltaicas (Figura 18), eólicas, hídricas, caldeiras a biomassa (com co-geração, ou seja, produção simultânea de calor e electricidade), pilhas de combustível com base em hidrogénio (desde que este seja produzido através de fontes renováveis) ou combinações das mesmas fontes. Como principais barreiras e entre as principais preocupações dos consumidores na aposta da micro-geração estão a legislação, o alto investimento inicial e respectivamente o nível de responsabilidade do consumidor [34].

Figura 18 – Esquema de uma unidade de produção de energia num sistema fotovoltaico: A – painel fotovoltaico; B – inversor de corrente (AC/DC); C – contador de produção; D – contador de consumos; E – Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP)

3.5. Edifícios de Emissão Zero

Com os novos regulamentos energéticos, emergiu um conjunto de medidas exigênciais para os novos edifícios, entre os quais se deve salientar a obrigatoriedade da utilização de colectores solares para aquecimento de águas quentes, que constituiu um marco de referência histórico. Desde 2006 que é obrigatório que todos os novos edifícios a licenciar, tenham um sistema solar de aquecimento de águas quentes, excepto em casos em que tal é impossível [31,30,36].

Não sendo uma situação obrigatória, a utilização de painéis fotovoltaicos começa a ser uma prática cada vez mais visível em Portugal. Verifica-se pois, a par das medidas de eficiência energética, uma gradual integração de energias renováveis para a produção de energia térmica e eléctrica nos edifícios. Este caminho, levará num futuro próximo a conceber edifícios de "balanço energético quase nulo". Este conceito já aceite na comunidade científica, teve recentemente um grande incentivo, por parte da CE, ao sugerir que na revisão da Directiva do Desempenho Energético dos Edifícios (*vd.* 3.2), os novos edifícios a construir em 2018: "***both carbon dioxide emissions and primary energy consumption are low or equal to zero".*** Também ao nível de outros aspectos da construção, como

por exemplo a "Construção Sustentável" verifica-se por parte dos agentes do mercado, significativos avanços e medidas [36,30].

Segundo o acordo político informal, entre negociadores do Parlamento Europeu e do Conselho, concretizado no final de Novembro (2009), todos os edifícios novos deverão cumprir, em 2020, elevados padrões de eficiência energética, assegurando que uma fatia significativa da produção de energia é feita através de fontes renováveis, designadamente a nível local, não tendo sido definidos objectivos concretos para os edifícios existentes [34,31,30].

A revisão da directiva, que foi um dos grandes objectivos da presidência sueca da União Europeia, acabou, contudo, por recuar em algumas das propostas anteriormente avançadas pela Comissão. O conceito de edifício "zero energia" acabou por dar lugar à expressão "quase zero energia", cuja definição legal foi deixada em aberto, ficando a cargo de cada EM concretizar os seus próprios *standards*, a nível local [34,31,30].

O conceito de edifício de emissão zero (do inglês *zero emission building* – ZEB) traduz-se numa construção com reduzidas necessidades de energia através de ganhos eficientes pela sua arquitectura, pelo que o balanço dessas necessidades poderá ser suportado pelas tecnologias renováveis (Figura 19). Uma vez que os objectivos na concepção destes edifícios são cruciais na forma de se atingir a sustentabilidade do ambiente construído, a definição dos ZEB é crucial para se perceber a interacção entre uma arquitectura eficiente e a utilização de energias renováveis [30].

Estes edifícios utilizam as fontes de energia tradicionais, como a rede eléctrica e a rede de gás natural, quando a produção *in situ* não satisfaz os consumos. Este balanço negativo de consumos de energia da rede, é compensado quando a produção é maior que o consumo destas energias, onde o excesso de energia é exportado para a rede útil. Sem este constante contacto/recurso à rede pública, tornar-se-ia bastante difícil a concepção dos ZEB, uma vez que as tecnologias correntes de armazenamento de energia são ainda limitadas [34,30].

Apesar da possível independência dos ZEB relativamente à rede pública, estes acabam por recorrer a outras fontes de energia como o propano (ou outros combustíveis) para equipamentos de cozinha, aquecimentos de ar e água, *etc*. A não ligação à rede pública, exige uma sobre-produção de energia proveniente dos recursos renováveis, uma vez que não há possibilidade de contrabalançar os consumos com a produção [34,30].

Apesar de todos estes cenários, é assumido que o excesso de energia gerado poderá sempre ser integrado na rede pública, contudo, e em alguns mercados mais desenvolvidos, poderá ser a rede a não necessitar da energia produzida *in situ*. Desta forma, sistemas de armazenamento tornar-se-iam necessários [34,30].

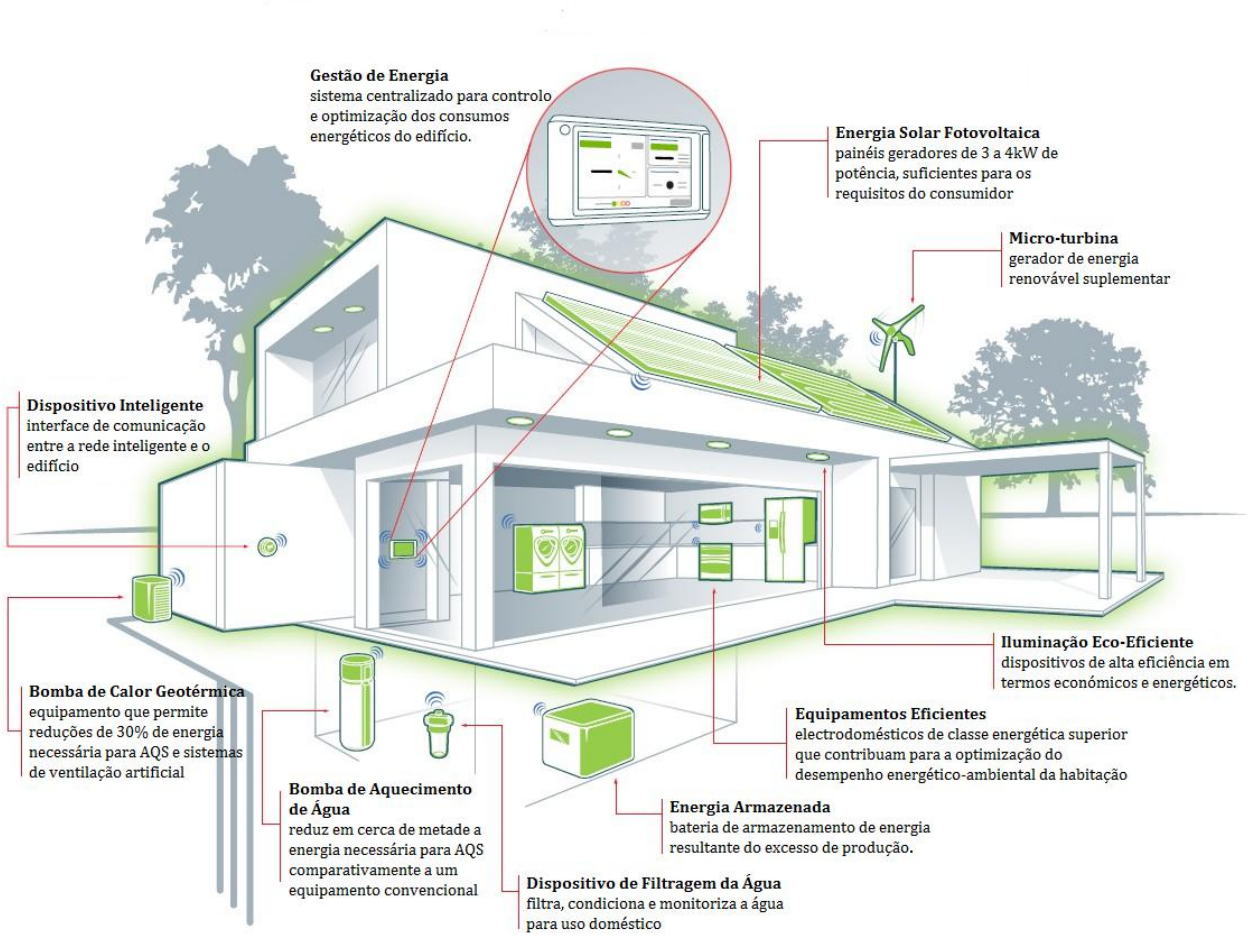


Figura 19 – Conjunto de soluções a adoptar no sentido de se atingirem os ZEB [54].

Várias tecnologias de fornecimento de energia renovável podem estar associadas aos ZEB, desde a fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, biocombustíveis, *etc*; todas elas favoravelmente melhores que as fontes convencionais de energia como o carvão e o gás natural. Ainda assim, é possível desenvolver um *ranking* da aplicabilidade das fontes de energia renovável no contexto dos ZEB, tendo em conta as tecnologias que [34,30]:

- ✓ Tendem a minorar o impacto ambiental, privilegiando a eficiência energética por intermédio de estratégias de design e redução de transporte;
- ✓ Poderão ser tão duráveis quanto o período de vida do edifício;
- ✓ Sejam de larga aplicabilidade e tenham potencial de repercussão para futuros ZEB.

Uma boa definição de Edifício Emissão Zero deverá encorajar em primeira instância a eficiência energética e posteriormente fazer uso das tecnologias existentes, *in situ*. Estas medidas de eficiência energética acompanham geralmente o ciclo de vida do edifício (entre as medidas mais eficientes constam o aquecimento solar passivo e a iluminação natural), sendo no entanto necessário verificar a durabilidade e persistência das mesmas, para assegurar a salvaguarda de energia, pois é sempre mais fácil poupar energia do que produzi-la [34,30].

A energia eólica aplicável aos edifícios será sempre de aplicabilidade limitada estruturalmente, devido ao ruído e sobretudo devido aos padrões do fluxo de ar. Como tal, energia proveniente do vento terá na sua generalidade fonte externa ao edifício. Outras fontes de energia renovável tais como *wood pellets*, etanol ou *biodiesel* teriam que ser importadas para processamento local (no edifício) [34,31,30].

A operacionalização do conceito de *SmartGrid* supracitado permitirá ainda aos edifícios desempenhar um papel relevante no balanço de energia entre o período de ponta e o período de vazio [35].

3.6. Uso Sustentável da Água

O uso sustentável da água nos edifícios passa pela eficiência hídrica dos produtos, atestada através de sistemas de rotulagem. As ineficiências no uso da água nos diversos sectores estão estimadas em 3100 milhões de m^3 por ano em Portugal, segundo dados do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), o que representa 0,64% do PIB. Metade deste valor provém dos sistemas públicos e prediais [55].

A Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), entidade sem fins lucrativos, lançou um sistema de adesão voluntária para a certificação e rotulagem de eficiência hídrica de produtos. Consiste numa classificação escalonada em função do consumo de água (Figura 20) apresentado por autoclismos, chuveiros ou sistemas de duche e torneiras. A iniciativa começou em finais de 2008 com a certificação dos autoclismos, por representarem o principal consumo nas redes prediais. No momento de certificar os produtos, aquela associação avalia a eficiência hídrica, o desempenho do produto e a comodidade de utilização [55].

Ao contrário da certificação energética dos edifícios, a hídrica é voluntária. Mas o PNUEA considera que o sistema deve evoluir para a obrigatoriedade. Este plano, aprovado ainda em 2005, prevê medidas de apoio fiscal aos cidadãos que comprem equipamentos eficientes do ponto de vista hídrico, às empresas que os fabriquem e também ao sector da construção, no caso de intervenções de reabilitação onde equipamentos pouco eficientes sejam substituídos [55].

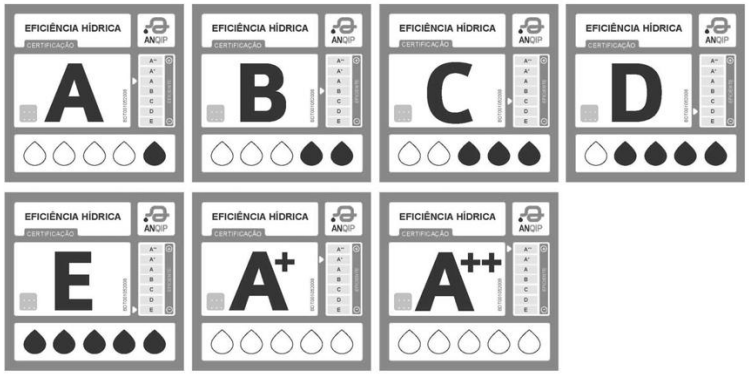


Figura 20 – Rótulos de certificação da eficiência hídrica de produtos do sistema voluntário da ANQIP [55].

3.6.1. RECOLHA E ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS E RESIDUAIS

Acreditava-se que um bem tão essencial como a água nunca se esgotaria. O seu consumo excessivo levou a que actualmente estejam repercutidas restrições de água na Europa e no Mundo, o que induz novas ideologias de consumo: mais racional, mais inteligente e solidário [56].

A composição da água da chuva torna-a perfeitamente utilizável para uso doméstico e industrial, contudo cai gratuitamente do céu e é sistematicamente conduzida às caleiras e esgotos, desperdiçando-se [56]. Portugal, à semelhança do que acontece com o potencial energético (*vd.* 3.1.), tem, relativamente aos restantes países da Europa, um satisfatório nível de precipitação anual (Figura 21) se pensarmos na questão da recolha da água.

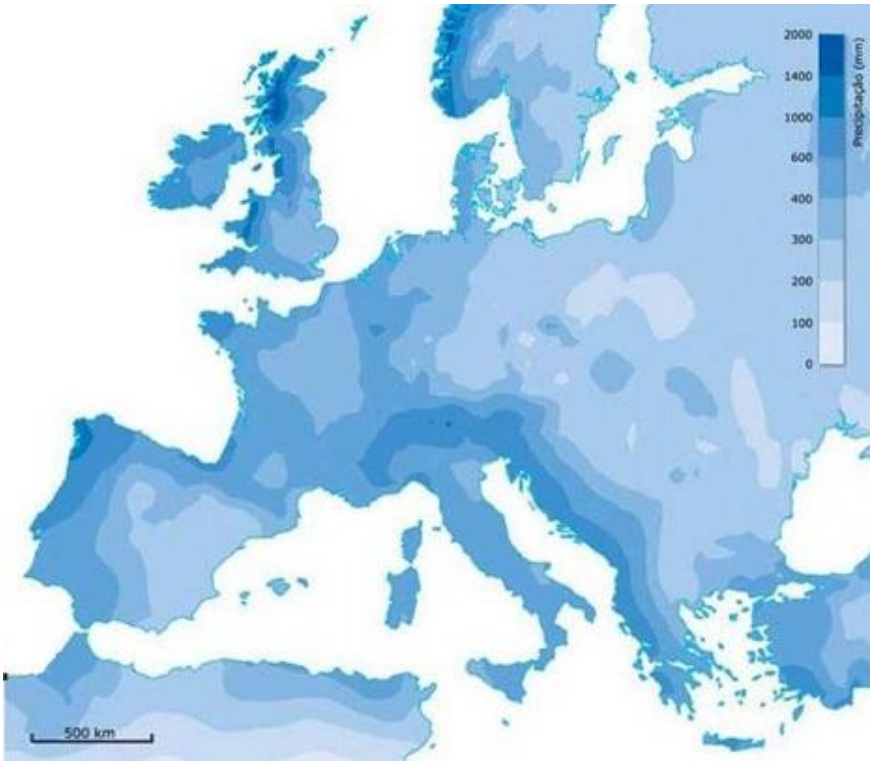


Figura 21 – Precipitações anuais (expresso em mm) na Europa [32].

Há países pioneiros em sistemas de recolha de água da chuva, como a Alemanha. O mesmo país onde se verifica que a população da capital, Berlim, consome cerca de 400 milhões de metros cúbicos de água (1,5 vezes a quantidade de água que cai por precipitação naquela região). Assim, é notório que não basta um reaproveitamento de águas mas também mudanças de mentalidade e de optimização dos equipamentos [56].

Se pensarmos ao nível da urbanização – edifícios, fábricas, ruas, *etc*. –, após cada tempestade, grandes quantidades de água inundariam as estações de tratamento, o que implicaria, numa tentativa de optimizar e rentabilizar o aproveitamento de toda a água, num grande investimento nas redes de esgotos e em poços de retenção. Assim, é perceptível que as cisternas particulares, associadas exclusivamente aos edifícios (sejam eles unifamiliares ou multifamiliares), minimizariam este

problema e optimizariam o consumo particular, já que a generalidade das actividades diárias caseiras não necessitam de água potável de qualidade – *e.g.* descargas da sanita –, onde são gastos cerca de 40 litros de água diariamente [56].

Uma recolha eficaz de águas pluviais deve respeitar algumas regras básicas, tais como privilegiar a simplicidade e menorizar os custos de manutenção, evitando sobretudo as sujidades, a luz e o calor excessivo. Com isto, além de uma selecção cuidadosa dos diferentes elementos construtivos é necessário um bom planeamento de implementação dos sistemas, já que coberturas com tela asfáltica e de fibrocimento tingem e "arrastam" substâncias tóxicas – *e.g.* fibras de amianto [56].

Com isto, e no sentido de caminhar também para a auto-suficiência hídrica do ambiente construído, é necessário a optimização dos sistemas de aproveitamento de água, minimizando os consumos da água da rede pública, e consequentemente, optimizando a utilização de água potável para consumo e das águas residuais.

Existem dois tipos de águas residuais gerados numa habitação: as <u>águas negras</u> – que resultam da água que foi misturada com dejectos das sanitas – e as <u>águas cinzentas</u> – provenientes das canalizações de outros locais que não as sanitas (banhos, máquinas de lavar roupa e louça, lavatórios, *etc.*). Estas águas residuais, ainda que com diferentes níveis de tratamentos (biológicos ou químicos) de desinfecção, são consideradas em sistemas que permitem a sua reutilização, por exemplo, em descargas de autoclismos ou regas exteriores [57].

IV. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

4.1. Enquadramento

Após uma análise dos aspectos mais gerais aplicáveis da arquitectura bioclimática, é necessário materializar as ideias passivas, implementando especificações construtivas que confiram estanquidade, conforto e durabilidade às construções. Esta nova adequação aos novos parâmetros e exigências, está por seu turno limitado à grande inércia do sector da construção na elaboração de novas directrizes [58].

Foram já referidos alguns materiais, pelo que é tarefa primordial impor a presença dos que representam melhor comportamento ambiental, seja pela menor emissão de GEE, pelo seu melhor comportamento como resíduo e/ou pelo seu menor consumo energético [58].

Pode concluir-se de antemão que materiais e sistemas construtivos interagem decidida e solidariamente no conforto e qualidade ambiental das habitações, pelo que o objectivo passa por enumerar alguns aspectos a ter em conta no processo de execução de uma construção, no sentido de reduzir custos energéticos e ambientais [58].

Seria assim recomendável estandardizar e industrializar elementos e processos construtivos na procura de uma melhoria da qualidade dos produtos, optimização dos custos de execução e possibilitar a reutilização dos materiais aplicados no final da vida útil da habitação [58].

Os custos ambientais serão ainda menores se forem contemplados elementos construtivos de fácil manuseio e transporte, e cuja manutenção não exija operações de grande envergadura, seja pela sua qualidade (durabilidade implícita) ou seja pela sua acessibilidade, permitindo revisões periódicas de controlo de qualidade, prevenindo deteriorações consideráveis e reparações dispendiosas [58].

Consequentemente, é possível reduzir os RCD, determinantes em qualquer fase da obra, com a obrigação adicional de gestão adequada dos resíduos gerados.

A flexibilidade no uso dos espaços – de forma a poderem albergar diferentes ocupações ao longo da vida útil – deverá ser contemplada através das técnicas e sistemas construtivos utilizados, sem que se coloque em causa a estabilidade estrutural original aquando dessas modificações. Quando, principalmente na construção nova, são tidas em consideração estas questões no projecto de um edifício, está a contribuir-se para a racionalização, optimização do edifício em simultâneo com a minimização dos custos energéticos e ambientais [58].

Na óptica de intervenções mais profundas em edifícios existentes, deve ter-se em conta todos os conceitos e requisitos até agora referidos para construção de edifícios de raiz. O principal problema prende-se com o ponto de partida: um volume pré-existente, com condições construtivas pertencentes a outra época, que não responde às exigências funcionais actuais. Assim, as intervenções esbarram em limitações formais e funcionais, mas confluem, na generalidade, no sentido da melhoria do comportamento energético com a redução das perdas térmicas [58].

4.2. Materiais

Entende-se por material todo o produto obtido na natureza ou mediante um processo industrial ou artesanal, destinado a ser incorporado na construção de forma isolada ou conjugado com outro. Podem dividir-se os materiais tradicionalmente utilizados na construção em: pedras naturais, pedras artificiais (tijolos de argila crua e cozida, telhas, azulejos, adobe e taipa), aviamentos (cais e gessos), revestimentos (roboco, estuque, tintas) e madeiras [59].

4.2.1. ENQUADRAMENTO LEGAL E ROTULAGEM AMBIENTAL

O reconhecimento, por parte do sector empresarial, de que as preocupações ambientais podem ser traduzidas em vantagens de mercado para certos produtos ou serviços, levou à criação de várias declarações, títulos e rótulos ambientais. Sem padrões de referência e sem uma certificação por entidades independentes, não existe, na óptica do consumidor, uma garantia de que esse produto ou serviço seja a alternativa ambientalmente preferível [60].

A certificação ambiental de materiais está ainda numa fase embrionária e limitada ainda a um regime voluntário. No entanto, espera-se que, para 2013 e com a conclusão dos trabalhos de normalização da Comissão Técnica da Comissão Europeia para a Normalização (TC 350/CEN), no âmbito da "sustentabilidade da construção", se tornem uma realidade as Declarações Ambientais de Produtos[18] baseadas na respectiva ACV e que constituam uma fonte de informação completa, cientificamente validade, dos impactes ambientais de materiais e soluções construtivas [61,62].

Segundo a Organização Internacional para a Normalização[19] o objectivo dum rótulo ecológico passa por "encorajar a procura e a oferta de produtos que causam menores pressões no ambiente ao longo do seu ciclo de vida, através da comunicação de informação verificável e fiável, não enganosa, acerca dos aspectos ambientais de produtos e serviços" (NP EN ISO 14020:1998). Desta forma, foram definidas certificações ambientais de diferentes tipologias que se especificam nas secções seguintes [60,61].

4.2.1.1. Declarações ambientais do Tipo I – Rótulos Ambientais

Um produto que respeite um determinado conjunto de requisitos sociais e ambientais poderá ser identificado por um selo designado por rótulo ambiental, onde estão implícitos objectivos na promoção de produtos com um reduzido impacte ambiental, comparativamente a outros produtos do mesmo grupo [60]. Este rótulo pode ser licenciado por um programa voluntário desenvolvido por uma organização pública ou privada, que tem como base o ciclo de vida do produto em questão, podendo ou não incluir estudos de ACV [61].

[18] *do inglês Environmental Product Declaration (EPD)*
[19] *ISO – International Standards Organization*

Os sistemas mais conhecidos a nível europeu são o Anjo Azul (do alemão *Blaue Angel*), sediado na Alemanha, e o Cisne Branco dos Países Nórdicos (*Swan – Nordic Ecolabel*), embora ainda limitados em termos da ACV de produtos. Destaca-se também o Rótulo Ecológico Europeu[20]. Trata-se de um esquema voluntário estabelecido em 1992, concebido para encorajar o mercado na oferta e procura de produtos mais eco-eficientes, marcados com o logótipo da flor da UE (Figura 22), sendo assim facilmente identificáveis pelos consumidores. O Rótulo Ecológico Europeu faz parte duma estratégia mais ampla da União Europeia que pretende promover a produção e o consumo sustentáveis, e apesar da simplicidade do símbolo, são exigentes os critérios ambientais na creditação de produtos com este rótulo [60,63].

Figura 22 – *EU ecolabel*: logótipo do Rótulo Ecológico Europeu [63].

Em Portugal, a atribuição do Rótulo Ecológico, é da responsabilidade de uma Comissão de Selecção presidida pela Direcção Geral do Ambiente com representantes da Direcção Geral de Indústria, da Direcção Geral de Saúde, da Direcção Geral do Comércio e do Instituto do Consumidor.

De entre os rótulos já referidos, sobressai um sistema alemão que além da certificação ecológica de materiais de construção (inclusive um produto fabricado e alguns outros importados para Portugal na área dos isolamentos) expõe através do seu "Símbolo R" a composição proporcional do produto através da percentagem da cor (Figura 23): vermelho corresponde aos recursos fósseis; amarelo diz respeito aos recursos minerais e a percentagem verde corresponde aos recursos renováveis associados ao produto [64,61]. Assim, este sistema alia a transparência dos recursos utilizados no fabrico com uma imagem de *marketing*.

Figura 23 – Rótulo R que quantifica os recursos utilizados no fabrico do produto [64].

[20] *Regulamento CEE 880/92 de 23 de Março, revisto pelo Regulamento (CE) 1980/2000 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de Julho de 2000*

Com a duração de 2 anos e meio e a participação do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), decorreu entre 2006 e meados de 2008, o projecto GREEN-IT[21] com os seguintes objectivos [61]:

- ✓ Desenvolver, testar e dinamizar um esquema voluntário de rotulagem no sector Europeu dos produtos de construção, complementar dos existentes, concebido para informar designers e donos de obra sobre as propriedades e características energéticas e ambientais desses produtos;
- ✓ Incentivar o Mercado a recorrer a iniciativas voluntárias que conduzam à produção e à utilização de componentes e produtos de construção com desempenho energético mais eficiente;
- ✓ Facilitar a implementação de sistemas de Desempenho Energético de Edifícios e com especificações de design para a sustentabilidade, envolvendo em particular os grupos de interesse que determinam a construção de edifícios;
- ✓ Motivar a indústria e os industriais, no sector da construção, para um maior envolvimento na aplicação das Directivas Europeias.

Como objectivos a longo prazo, este projecto visa promover a transformação do mercado de forma que, os eco-produtos e os produtos eficientes em termos energéticos para os edifícios façam parte integrante do mercado, desde as fases de concepção dos edifícios até à sua construção, utilização, manutenção e demolição.

4.2.1.2. Declarações Ambientais do Tipo II – Auto-Declarações

As classificações do tipo II estabelecidas na NP EN ISO 14020:1998, com menor peso face às outras declarações ambientais, são designadas de auto-declarações, já que são desenvolvidas pelos fabricantes, importadores ou distribuidores com a finalidade de focar os aspectos ambientais dos seus produtos ou serviços, onde não está contemplada uma auditoria externa e independente [61].

Alguns produtos comercializados no mercado português (tintas e vernizes) têm indicações dos próprios fabricantes que garantem o cumprimento da legislação vigente no que respeita à emissão de COV (*vd.* 2.3.3). São também conhecidos produtos cimentícios que declaram uma reduzida emissão de pó (até 90% de redução) durante as fases de mistura, trabalho e aplicação. Apesar de não ter em consideração a totalidade da ACV dos produtos, estas declarações são ainda assim importantes na exposição da informação sobre aspectos ambientais dos produtos [60,61].

[21] *Green Initiative for energy efficient eco-products*

4.2.1.3. Declarações Ambientais do Tipo III – EPDs

As Declarações Ambientais de Produto (do inglês *Environmental Product Declaration*) disponibilizam informação normalizada de ACV sobre um produto ou serviço, através de diagramas que apresentam um conjunto de indicadores ambientais relevantes [60]. Podem ser desenvolvidas (voluntariamente) no âmbito de um programa de EPD com uma organização que administra o processo de certificação. A estas certificações estão associadas as Regras para Categorias de Produtos (do inglês *Product Category Rules* – PCR), de que resulta uma harmonia entre a informação obtida e a metodologia de ACV utilizada, que facilita a comparação de resultados entre produtos com aplicações semelhantes [61].

As EPD podem ser referentes a materiais, componentes ou até das soluções construtivas de um edifício através das EPD individuais dos materiais de construção que a compõe; desta forma tornar-se-á possível a avaliação ambiental de um edifício através do conjunto de EPD dos elementos que o constituem [61].

Relativamente às declarações do tipo I descritas, têm como principal diferença o facto de a qualquer produto se poder atribuir uma EPD; já o rótulo ecológico é atribuído apenas a produtos que satisfaçam requisitos mínimos predefinidos [61].

4.2.1.4. Gestão Sustentável Florestal

O mercado internacional do comércio das madeiras tem vindo a valorizar práticas de gestão florestal responsável, em detrimento das práticas não sustentáveis, já que actualmente por parte dos consumidores é exigida uma garantia de que o produto que estão a adquirir no mercado foi produzido de acordo com práticas de gestão sustentável. Os princípios da Gestão Florestal Responsável devem ser cumpridos, utilizando critérios objectivos e mensuráveis, através de Normas desenvolvidas de acordo com a realidade nacional, adaptadas às condições locais, acessíveis e com relação custo-benefício eficiente para todos os tipos de floresta [65]

Surgem então, dois rótulos de aplicação mundial (Figura 24 e Figura 25) – que se inserem nos sistemas de certificação ambiental do Tipo I atrás descrito –, a saber, o *Forest Stewardship Council* (FSC) e o *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC).

Figura 24 – Rótulo ambiental da FSC [66].

Figura 25 – Rótulo ambiental da PEFC [67]

O PEFC foi o primeiro esquema de certificação florestal com desenvolvimento em Portugal através da norma portuguesa para a certificação de sistemas de gestão florestal sustentável, visando o cumprimento dos requisitos expressos na norma portuguesa NP4406:2005. Actualmente, a este sistema de certificação estão associados 32 países, dos quais 22 têm o seu esquema reconhecido, totalizando no seu conjunto cerca de 186 milhões de hectares de área florestal certificada [65,67].

4.2.2. BETÃO

O betão é, ainda hoje, o material mais utilizado na indústria da construção, nacional e internacionalmente. No seu fabrico, o consumo de energia exigido deve-se quase na totalidade à energia necessária para o fabrico do cimento Portland (Figura 26) – ligante que confere integridade estrutural aos diversos componentes do betão. Estudos revelam que durante a produção de uma tonelada de clínquer[22] de cimento Portland se produz aproximadamente a mesma quantidade de $C0_2$ (relativa às emissões associados aos gastos de energia às quais se acresce os processos de descarbonização do calcário – $CaCO_3$ – responsável por mais de 50% dessas emissões) [68].

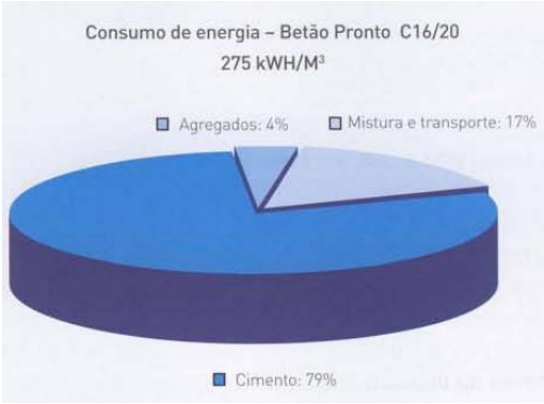


Figura 26 – Quantificação parcelar e percentual dos gastos de energia por componente de betão [68].

Com a mentalidade de caminhar para maiores eficiências de sustentabilidade, também para o material de construção betão, a incorporação de resíduos (sobretudo de características pozolânicas[23]) de outras indústrias tem vindo a ser investigada e estudada como sendo: as cinzas volantes, escórias de alto forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais e de resíduos sólidos urbanos, resíduos de vidro. Os resíduos da indústria automóvel, resíduos de plástico, têxteis, os RCS – *e.g.* resíduos cerâmicos – estão também contemplados como componentes do betão como agregados ou *filler*[24]. Os resultados obtidos são tão satisfatórios e animadores, que, para além das

[22] Material sintetizado e peletizado, resultado da calcinação (1450 ºC) da mistura do calcário (75 a 80%), da argila (20 a 25%) e de outros componentes químicos que dá origem ao cimento Portland, por moagem.
[23] Designação que deriva do italiano Pozzuoli (localidade nas imediações do Vesúvio onde são facilmente encontradas cinzas vulcânicas) e alargada a materiais produzidos industrialmente derivados de cinzas volantes.
[24] Designação atribuída ao agregado mais fino (geralmente areia) que dá enchimento às misturas de betão.

evidentes vantagens ambientais, existe adicionalmente uma melhoria do desempenho mecânico e da durabilidade dos betões nos quais foram incorporados os resíduos referidos [68].

Os agregados (incluindo a areia, cascalho, brita) que fazem parte da composição do betão representam aproximadamente 80% da mistura. Com a intenção de salvaguardar os agregados provenientes de recursos naturais, a indústria e os seus intervenientes começam a incluir nas suas políticas a (re)introdução do betão fabricado para nova construção, para além da incorporação dos resíduos anteriormente referidos. Algumas empresas apresentam já rácios de 70 a 90% de retorno de betão como agregado, o que fez com que nos últimos anos tenha havido um decréscimo em cerca de 45% na produção de agregados primários. No início desta década estima-se que 30% destes componentes tenha origem não-primária, o equivalente a 70 milhões de toneladas. Aquando do reforço dos elementos betonados, o esforço de algumas empresas tem até impulsionado a utilização de aço 100% reciclado, com origem, por exemplo, em sucatas [46].

4.2.3. SUBSTITUTOS DO CIMENTO

A indústria da produção de cimento é a terceira responsável máxima das emissões de monóxido de carbono que agravam o aquecimento global, cerca de 7 a 10% das emissões de monóxido de carbono, logo atrás dos transportes e energia. Estima-se que por cada tonelada de cimento produzido a mesma quantidade em monóxido de carbono é emitida para o meio ambiente, resultado da reacção química e da queima do combustível fóssil que lhe faculta o processo. A produção deste agregado aumenta, mundialmente, cerca de 5% por ano [46].

Assim, a produção mundial de cimento contribui significativamente para o aquecimento global. Contudo, para além de se optimizar a eficiência energética das indústrias produtoras do cimento Portland, a quantidade de cimento usada em misturas de betão poderá ser reduzida por utilização de substitutos de cimento [46].

De entre esses materiais alternativos supracitados, descrevem-se alguns que foram já alvos de estudo e aplicados alguns materiais.

4.2.3.1. Ground Granulated Blastfurnace Slag (GGBS)

Da indústria do ferro e especificamente da sua produção (fornos a altas temperaturas) resulta uma escória que quando fundida e arrefecida e posteriormente granulada se transforma num fino pó de cimento que dá origem ao *Ground Granulated Blastfurnace Slag*. O processo de recuperação e processamento de uma tonelada desta escória produz aproximadamente 0,1 toneladas de monóxido de carbono e pode substituir o cimento Portland em taxas a rondar os 70% (com máximos acima de 90%). Salienta-se que, a qualidade como material de cimento do granulado de escória está proporcionalmente relacionada com a qualidade do ferro em fabrico, até porque o controlo de qualidade no fabrico do ferro é efectuado de acordo com a composição química apresentada pela escória [46].

4.2.3.2. Fly Ash

As cinzas de combustível pulverizado (do inglês *Fuel Pulvurized Ash*) que resultam da combustão do carvão em centrais eléctricas e que são recolhidas através de precipitadores electrostáticos, constituem geralmente 10 a 30% do cimento Portland utilizado havendo já casos em que essa porção atingiu os 50% [46].

4.2.3.3. Cal

Até à revolução industrial e ao desenvolvimento do cimento (em 1824, em Portland, Inglaterra, que posteriormente daria o nome ao cimento Portland), a cal era o principal ligante utilizado na indústria da construção na aplicação de argamassas e revestimentos (incluindo pinturas). Foi responsável pela solidez dos edifícios antigos, participando em obras tão prestigiosas como os frescos e os estuques que os decoram. Devido às limitações de transporte, era comum a aplicação do material local, pelo que comummente se ignoravam efeitos correctores consoante a finalidade para a qual a cal era extraída, tais como o controlo da rapidez de endurecimento, a sua dureza ou grau de impermeabilização [69].

Cerca de 20% da superfície terrestre é constituída por calcário ($CaCO_3$) e os construtores da época aplicavam a cal disponível em pedreiras e fornos de cal mais próximas [69]. A qualidade da mesma associar-se-ia à pureza do calcário extraído, já que a este estão geralmente associados quantidades variáveis de argila e outras impurezas. Assim, consoante a maior ou menor quantidade de argila, obtêm-se margas calcárias ou calcários margosos, respectivamente [70].

A cozedura do calcário puro origina óxido de cálcio, vulgarmente designada de cal viva (*quicklime*) e tecnicamente designada de cal aérea; que, por reacção com água (extinção) origina cal apagada (*hidrated lime*). Da imersão em água (excesso de H_2O na reacção) dos blocos de cal viva forma-se a pasta de cal, conforme esquematizado na Figura 27 [70].

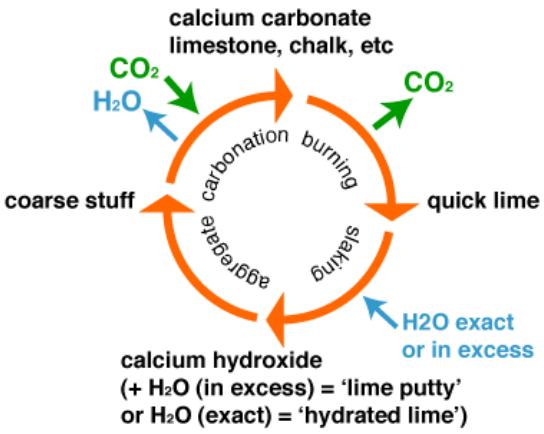


Figura 27 – Ciclo da cal [46]

A cozedura do calcário margoso dá origem a cais mais ou menos hidráulicas (consoante o teor de argila) e a cimentos naturais. A cal retirada do forno deve igualmente ser extinta, com a finalidade de eliminar a cal viva mas sobretudo para provocar a pulverização de toda a cal hidráulica. Este fenómeno permite distinguir a cal hidráulica do cimento Portland: a finura da cal é obtida por extinção e não por moagem. Contudo, a sua cor e textura são em tudo semelhantes, o que pode prestar-se a falsificações com consequências desastrosas uma vez que a cal hidráulica confere menor resistência mecânica às soluções. Assim é um produto com campo de aplicação em argamassas pobres (argamassas de revestimento, argamassas de reboco de paredes, argamassas para alvenaria, *etc*.) [70]

Do ponto de vista da sustentabilidade e agressividade para com o meio ambiente, as principais vantagens da cal sobre o cimento são [46]:

- ✓ menores temperaturas necessárias/associadas à produção, resultando numa redução de 20% das emissões de dióxido de carbono;
- ✓ a pasta de cal absorve CO_2 no processo de cura. A cal não-hidráulica absorve aproximadamente o seu peso próprio em CO_2, e a cal hidráulica nunca mais de 75% do seu peso;
- ✓ ao contrário da argamassa de cimento, a constituída por cal é reciclável. Também a alvenaria adjacente à argamassa de cal poderá ser reutilizada, contrariamente àquela revestida por argamassa de cimento que servirá apenas para elementos britados;
- ✓ apresenta maior flexibilidade (sendo igualmente forte nas ligações), movimentando-se com a estrutura (impossível na argamassa de cimento dada a sua rigidez) prevenindo o fendilhação (evita também a expansão das juntas);
- ✓ à semelhança da argamassa de cimento é impermeável à água, mas permite a absorção de humidade e posterior evaporação, mantendo assim seca a alvenaria adjacente.

4.2.4. ISOLAMENTOS TÉRMICOS E ACÚSTICOS

4.2.4.1. Isolantes Naturais vs. Isolantes Sintéticos

Com a rápida expansão do mercado dos isolantes orgânicos, verifica-se uma proporcional aposta, desde os agentes responsáveis pela construção (donos de obra, projectistas, etc.) até aos utilizadores finais. Estes materiais compõem uma vasta matriz de características e propriedades, que, quando correctamente aplicados melhoram consideravelmente a *performance* do edifício [71].

Relativamente aos isolantes sintéticos convencionais a performance dos isolantes naturais não desiludem e são, geralmente, melhores materiais em termos de funcionalidade e durabilidade, para além das inerentes questões de reutilização e reciclagem que vão de encontro às questões de sustentabilidade; não só reduzem as perdas de energia e diminuem a libertação de carbono como, sobretudo durante a fase da extracção, absorvem esse gás com potencial de aquecimento global [71].

Uma das grandes vantagens dos isolamentos orgânicos é que permitem, na maior parte dos casos, soluções construtivas sem barreiras de vapor, já que são capazes de difundir a humidade absorvida; implicará uma melhoria ambiental da habitação e num aforro monetário. É, ainda assim, recomendável a utilização de materiais com homologação oficial (rotulagem ambiental), que se traduz num indicador suplementar de qualidade [69].

No passado, era limitada a aplicação de isolantes naturais e a sua entrada no mercado foi muitas vezes questionada, muito pela incorrecta percepção de que não eram capazes de competir, em termos de funcionalidade e custos, com os isolantes convencionais [71]. Para além deste cepticismo a aplicação dos isolantes naturais mediria também forças com o *lobby* da indústria química que por muitos anos ajudou a manter classificações de comportamento ao fogo melhores para isolamentos sintéticos; resultados contrariados por ensaio realizado na Alemanha e publicado na revista *Oko-Haus* [25] [69].

Nos subcapítulos seguintes pretende-se demonstrar o rol de possibilidades que o mercado actual apresenta como alternativa aos isolamentos sintéticos. Cada um destes materiais é uma combinação de características-chave que permite, aos intervenientes na construção, a selecção de isolantes orgânicos que ajudarão a criar construções mais eficientes energeticamente, mais saudáveis e duráveis, mantendo as condições de conforto dos ocupantes. Na Tabela 9 sintetizam-se os campos de aplicação (por elemento construtivo) mais adequados a cada um desses isolamentos.

Tabela 9 – Síntese de aplicação dos materiais ecológicos por elemento de construção [69].

Elemento construtivo	Materiais isolantes
coberturas	pela sua resistência ao choque, ao vento e à humidade: — painéis de fibras brandas de madeira — painéis de aglomerado de cortiça
vigas	entre vigas recomenda-se a instalação de materiais flexíveis de instalação simples (sob pressão): — produtos à base de celulose, linho, lã, cânhamo ou algodão.
fachadas	— painéis de aglomerado de cortiça — painéis de fibras brandas de madeira (como segunda fachada à qual se podem conjugar produtos de celulose) — isolantes minerais (lã de vidro, lã de rocha,…) — vidro celular
divisórias	— painéis de fibras brandas de madeira — celulose, cânhamo e lã ou materiais similares (com certas limitações)
tectos e solos	materiais a granel, também aplicáveis no aligeiramento de betão: — granulado de cortiça — argila expandida

[25] Artigo publicado na edição nº 16 da revista, realizado num Instituto Alemão com o intuito de estudar o comportamento ao fogo de três materiais de isolamento: fibras minerais, poliestireno expandido e a celulose

Relativamente aos ensaios realizados nos materiais descritos, é necessário ter em conta que as condições de humidade, temperatura ou pressão atmosférica podem interferir na sua estrutura molecular, concedendo valores benéficos na óptica do fabricante. Aspectos como estes podem elucidar acerca da falta de fiabilidade ao redor destas informações: desde indicar como valor oficial da condutividade térmica de um produto, o resultado de ensaios realizados sob condições não favoráveis; a omissão de dados importantes como da inércia térmica do material, por não ser considerado um resultado adequado, *etc* [69].

Com isto, será imprescindível ter em conta, no momento de escolher um isolante, aspectos como a sua composição natural (ausência de substância nocivas) ou balanço energético favorável, focando características que dificilmente estão patentes em isolamentos sintéticos e que estão intrínsecos aos ecológicos [69].

4.2.4.2. Argila Expandida

Geologicamente a argila é uma rocha sedimentar impermeável de estrutura pulvurenta e a sua extracção é efectuada em explorações a céu aberto. A resistência que lhe conferem os processos de secagem e cozedura posterior à mistura com água, tornaram a argila numa poderosa matéria-prima no fabrico de materiais de construção tais como em telhas e revestimentos [69].

Entre os diferentes tipos de argila existentes, associados às diferentes localizações e formas de sedimentação, salienta-se uma do tipo inerte e arenoso que, contrariamente à utilizada em cerâmica, se expande quando sujeita a elevadas temperaturas, a argila expandida. Deste processo de introdução de argila pura em fornos rotativos a temperaturas superiores a 800ºC, resulta a sua expansão controlada e a formação de grânulos no seu interior – milhares de micro poros fechados, que, por conterem apenas ar, conferem leveza e propriedades isolantes [72,69]. Na Tabela 10 estão descritas as propriedades de gamas distintas de argila expandida comercializada pela Argex ®.

Tabela 10 – Propriedades da gama de produtos em argila expandida da Argex ® [72].

Argila Expandida			
Granulometria (mm)	*4 a 8* (1)	*8 a 12,5* (2)	*8 a 16* (2)
densidade	358 ± 15 kg/m^3	303 ± 15 kg/m^3	397 ± 15 kg/m^3
resistência (esmagamento)	4,8 MPa	1,9 MPa	1,4 MPa
comportamento ao fogo	Incombustível: Euroclasse A1		
condutibilidade térmica	0,11 W/m·ºC		0,10 W/m·ºC
PEC	7,20 MJ/kg		
PAG	0,52 kgCO2/kg		

(1) passível de aplicação em betões estruturais leves para obras especiais e de reabilitação

(2) de aplicação em regularização e isolamento de pavimentos; enchimento de caixas-de-ar

Estas propriedades, conjugadas com a sua natureza mineral, fazem da argila expandida um isolante térmico durável, com elevada resistência térmica e que, em função das características da matéria-prima e da tecnologia de queima é possível que esta apresente diversas características para diferentes aplicações (Tabela 10). Além de tudo isso, é um material quimicamente neutro que não liberta gases nem odores, para além de não deteriorar nem se modificar ao longo do seu tempo de vida útil [72,69].

4.2.4.1. Cortiça

A grande parte da produção de cortiça é efectuada na União Europeia (acima dos 80%), com maior destaque para os cerca de 50% do volume de produção, em Portugal. Trata-se de um material cujas aplicações são conhecidas desde a Antiguidade, algumas delas, desde logo relacionadas com a construção, mas sobretudo como artefacto flutuante e como vedante, cujo mercado, a partir do início do século XX, teve uma enorme expansão, nomeadamente face ao desenvolvimento de aglomerados diversos à base de cortiça [73].

Proveniente do córtex exterior do sobreiro (*Quercus Suber*), cuja extracção é feita a partir dos seus 20 até aos 150 anos, com intervalos de 8 anos, sempre na época de Verão, constitui um recurso renovável. Desta forma, é possível extrair-se uma média de 8 a 10kg de cortiça por sobreiro. Na sua transformação, incluem-se os processos de trituração, formando grânulos, e posterior prensagem e cozedura que estimulam a resina natural e o tecido do córtex [69].

Macroscopicamente é um material leve que se caracteriza pela sua elasticidade – pode aguentar fortes compressões verticais sem que se expanda horizontal ou lateralmente – e impermeabilidade (a gases e líquidos). Além de quimicamente inerte é um excelente isolante térmico (baixa condutividade térmica), eléctrico e é também conhecido por ser um material absorvedor acústico e de vibrações, sendo também inócuo e praticamente imputrescível. Estas características, sintetizadas na Tabela 11, resultam da sua peculiar microestrutura em várias camadas de células com aspecto alveolar [73,69].

Tabela 11 – Propriedades do granulado e aglomerado de cortiça enquanto isolantes térmico-acústicos [69,73].

Isolantes em Cortiça		
	Granulado	*Aglomerado*
densidade	60-80 kg/m^3	100-140 kg/m^3
granulometria	3-15mm	—
absorção acústica	15 a 50% dependendo da frequência	
comportamento ao fogo	—	Euroclasse E
[λ] condutibilidade térmica	0,048 W/m·ºC	0,040 W/m·ºC
PEC	4,00 MJ/kg	
PAG	0,19 kgCO_2/kg	

Com referência à indústria de construção em Portugal, os produtos corticeiros mais correntes são os isolantes térmicos acústicos e os anti-vibráteis com aplicações comuns em tectos falsos, revestimento de paredes, pisos e tectos, granulados para enchimento de espaços (Figura 28) e misturas para argamassas; juntas isolantes e de dilatação ou compressão. Em 2000, dados revelam que relativamente ao total dos produtos corticeiros, foram aplicados na construção 17% (10 milhões de m^2) como aglomerados para revestimento e 6% (150 mil m^3) como aglomerado expandido de cortiça [73].

Figura 28 – Enchimento com grânulos de cortiça em blocos cerâmicos de furação vertical [69].

4.2.4.2. Celulose

Celulose é a componente fundamental da estrutura dos vegetais, presente na madeira em cerca de 50 % dependendo do tipo e tratamento – *e.g.* pinho, eucalipto e abeto – e em fibras naturais como o algodão em cerca de 99%. A celulose pura é branca e, entre outras propriedades (Tabela 12), apresenta grande resistência mecânica: as fibras de algodão chegam a suportar tensões na ordem dos 80kg/mm^2 [69].

Tabela 12 – Propriedades de um isolante em forma de painéis à base de celulose [17,69].

Celulose	
densidade	70 kg/m^3
comportamento ao fogo	Euroclasse E
condutibilidade térmica	0,039 W/m·ºC
PEC	0,9 a 3,3 MJ/kg
PAG	n/d

É uma matéria-prima obtida a partir de palha ou madeira, mediante processos industriais de desintegração e desfibração, entre outros. Contudo, a celulose empregue na indústria da construção na forma de isolamento, tem a sua origem em papel de jornal reciclado [69].

4.2.4.3. Cânhamo

A indústria de cânhamo e seus derivados tem vindo a desenvolver-se um pouco por todo o mundo, já que o seu campo de aplicação passa pela alimentação, cosmética, textéis, combustíveis e materiais de construção. Esta planta atinge até os 4 metros de altura entre 100 a 120 dias após a sua plantação e têm a capacidade de cobrir rapidamente o solo impedindo o aparecimento de ervas daninhas, evitando completamente o uso de pesticidas no seu cultivo. O cânhamo purifica o ar na sua fase de crescimento, absorvendo CO_2. [74].

Dependendo das várias marcas comerciais que já apostam nas fibras de cânhamo no fabrico de soluções para isolamento em edifícios, estas podem ser apresentadas em forma de painéis flexíveis ou em rolo para isolar tectos, paredes ou pavimentos. É considerado um excelente material de construção, pois aliado ao excelente comportamento ambiental, é de fácil aplicação e passível de ser utilizado em obras de reabilitação ou construções novas [74].

O material cânhamo como material de construção apresenta versatilidade e diferentes formas descritas na Figura 29. As suas principais características como material isolante são apresentadas na Tabela 13.

Figura 29 – Várias formas e aspectos das fibras de cânhamo na preparação de várias soluções para a construção [75].

Tabela 13 – Propriedades dos rolos e painéis de isolamento de cânhamo da *Thermo-Hemp*® [74].

Cânhamo	
densidade	30 a 42 kg/m^3
comportamento ao fogo	Euroclasse E
condutibilidade térmica	0,040 W/m·ºC
PEC	4,32 MJ/kg
PAG	n/d

4.2.4.4. Vidro Celular

O vidro é um material duro e geralmente translúcido ou transparente que resulta da solidificação da mistura fundida de areias silícias, cal e carbonato de sódio ou de potássio (estes com função

vitrificante). É um material mau condutor do calor e de electricidade, resistente aos agentes químicos ordinários – atacado pelo ácido fluorídrico [69].

Com o pó de vidro pode ser fabricado um isolamento aplicável em construção conhecido por vidro celular. É obtido através da fusão do pó vítreo, a qual através de processos termo-químicos origina células parcialmente ocas e fechadas entre si, impossibilitando a comunicação [69].

Existem dois tipos de vidro celular: um de cor escura aplicado como isolante térmico (contra humidade ou contra fogo) e outro de cores mais claras (branco, azul, beige, salmão, verde) utilizado como tecto falso de fácil montagem e desmontagem e com armação adequada [69].

Tabela 14 – Propriedades do painel FOAMGLAS ® Wall Board constituído por vidro celular [17,76].

Vidro Celular	
densidade	100-120 kg/m^3
resistência à compressão	5 Kg/cm^2
resistência à flexão	0,40 N/mm^2
comportamento ao fogo	Euroclasse A1
condutibilidade térmica	0,042 W/m·ºC
PEC	27,00 MJ/kg
PAG	n/d

4.2.4.5. Outros materiais

Existem muitos outros materiais que cumprem as exigências tecnológicas de funcionalidade sem prejudicar a saúde humana e do Planeta. Os isolamentos naturais encontram-se em constante desenvolvimento e cada vez mais são os centros tecnológicos e empresas que desenvolvem e comercializam diferentes matérias-primas com potencialidade de aplicação na construção. A indústria têxtil engloba-se no mercado com produtos de linho, lã e algodão que com a forma de painéis ou rolos se aplicam de forma similar às fibras minerais [69].

Outros exemplos foram já descobertos e aplicados desde a antiguidade e, pelos requisitos exigidos pela construção actual que ainda cumprem, colocam-se como boas alternativas aos isolantes sintéticos. Desde logo a palha, que tem sido um material de construção milenar (*vd.* 2.3.4), que se destaca pela baixa condutibilidade térmica, permitindo temperaturas estáveis no interior de edifícios – a principal preocupação do seu uso surge com as proteínas que possa conter que se torna atraente a agentes biológicos (exigindo um processo de mineralização que passa por submergir o material numa solução de água e 5% de cal). Outros estudos sugerem as fibras de coco, algas, córtex de pinheiro, cascas de avelãs, amêndoas, nozes e arroz, espigas de milho secas como matérias integrantes de painéis, rolos, ou mesmo granulados para enchimento que garantem boa capacidade de isolamento [69].

4.3. Estrutura

Adoptando uma descrição sucinta da estrutura de um edifício, seguir-se-á uma ordem similar à sequência construtiva praticável, iniciando-se nas fundações (infra-estrutura) e seguindo para estrutura (super-estrutura). A sua concepção definirá as considerações relativas à aplicação dos diversos materiais e técnicas de execução.

4.3.1. INFRA-ESTRUTURA

O material mais aplicado mundialmente como fundação de um edifício é o betão. Da escavação das valas em estratos resistentes (é credível que se façam estudos no sentido de estudar a resistência dos solos e seus constituintes) é criado o molde que receberá o betão pronto. Deste contacto mútuo – pela interacção química dos terrenos e da composição do cimento – pode estar em causa a durabilidade do betão; a isto se junta o facto de os próprios aditivos introduzidos no sentido de evitar estas situações, tenham na sua composição compostos lixiviáveis (*e.g.* metais pesados) contaminadores dos solos adjacentes e especialmente dos lençóis de água do subsolo. Se o betão se apresentar excessivamente poroso e mantiver na sua composição escórias, cinzas volantes e fumos de sílica, haverá então uma maior repercussão se ocorrerem betonagens submersas em linhas de água. Neste sentido é fundamental o controle e dosagem para a qualidade da mistura [58].

Segundo estudos (efectuados em Barcelona, Espanha) de ACV sobre um conjunto de sapatas, apresentam pior comportamento aquelas que foram dimensionadas com maior quantidade de aço como elemento resistente. Como já referido, é considerável a contribuição do aço nos custos ambientais, tanto pelo PEC como pelo PAG, incidindo decisivamente pela negativa a sua valorização [58].

4.3.2. SUPER-ESTRUTURA

4.3.2.1. Sistemas Construtivos em Terra

A construção em terra encontra-se entre as mais antigas técnicas de construção, não se limitando à edificação de pequenas construções mas abrangendo a construção de edifícios de grande escala. Muito embora o material esteja presente na maior parte dos edifícios do mundo, grande parte das suas propriedades e potencial continuam pouco desenvolvidos e investigados [3].

Tratando-se a terra de uma matéria-prima abundante, os processos de construção que a aproveitam são antigos e universalmente conhecidos. Apesar desta tradição, muitos equívocos e de carácter económico e arquitectónico levaram a que nos últimos 200 anos a taipa e o adobe fossem considerados materiais pobres e sem interesse. No entanto, a partir dos anos '50, em pleno pós-guerra, as condições conjunturais como as dificuldades económicas e a falta de materiais industrializados disponíveis, fizeram renascer este processo sobretudo em países Europeus. Ainda

nos dias de hoje, em França, se procura valorizar o material por adição de aditivos aglomerantes, melhorando o seu desempenho por aumento da resistência [59].

A proliferação deste tipo de construção surge da necessidade de provocar o menor impacte ambiental possível, com recurso a um material que pudesse ser disponibilizado pela natureza para posterior devolução após utilização, sem agressões ao ambiente [3].

É caracterizado pela baixa energia incorporada, pelo que o consumo energético primário é sobretudo solar, tornando-a uma tecnologia com capacidade de resposta à racionalização do consumo energético. Bons exemplos mostram-nos que edifícios construídos em terra apresentam bom comportamento térmico e acústico devido à grande inércia das suas paredes, e um bom comportamento ao fogo uma vez que a terra é um material incombustível. Contudo, a resistência mecânica à compressão é da ordem dos 1 a 3 MPa e a resistência à tracção é desprezável [3].

A estrutura da terra depende da forma como as partículas se agregam e de como o ar e a água circulam. A terra tem na sua composição mineral elementos estáveis que lhe conferem resistência mecânica – siltes e saibros – e elementos instáveis, *e.g.* argilas, responsáveis pela plasticidade e coesão do conjunto [3].

O estudo da granulometria do material permite definir a composição e definir a técnica construtiva a utilizar mediante correcções à curva granulométrica e mediante a recorrência à estabilização (correcção da composição por adição de elementos). Os métodos de estabilização passam pela densificação da terra por compressão e da adição de armaduras de fibras, cimento, cal ou betume, com o objectivo de [3]:

- ✓ obter melhor comportamento mecânico e coesão;
- ✓ reduzir a porosidade e as variações de volume;
- ✓ impermeabilizar e melhorar a resistência à erosão do vento e da chuva;
- ✓ reduzir a abrasão da superfície.

Em Portugal, as técnicas de construção que aproveitam como material principal a terra são vulgarmente conhecidas por taipa e adobe. A primeira tem na sua designação o método usado, pelo recurso a taipais para a moldagem da terra. Já o adobe é caracterizado por tijolos crus, simplesmente secos ao sol e ar, cuja aplicação em obra se faz de forma idêntica à da alvenaria de tijolo convencional [59].

4.3.2.2. Tijolo Estrutural de Furação Vertical

Os tijolos tradicionais de furação horizontal foram desenvolvidos, a par do aparecimento das estruturas de betão armado, em Portugal, nas décadas de 40 e 50, à medida que caíam em desuso estruturas de alvenaria resistente, construídas com pedra ou tijolo maciço. A evolução recente das técnicas de construção, o conhecimento mais profundo dos materiais, a preocupação do conforto e higiene da habitação e um mercado cada vez mais esclarecido e concorrencial, trouxeram uma nova perspectiva sobre a utilização das alvenarias em cerâmica. Era, até então, considerado unicamente

como material de enchimento, com exigências limitadas e sem causar problemas de maior às construções [77].

Hoje, exige-se destes materiais a possibilidade de se comportarem como elementos resistentes da estrutura da construção, para além de um comportamento adequado quanto ao isolamento térmico e acústico, e quanto ao equilíbrio de humidade da habitação. Torna-se assim, um elemento determinante na concepção de edifícios verdes e inteligentes, devido ao seu potencial de reutilização [77].

Com ganhos notáveis de produtividade, custo e melhoria da construção (construção rápida e de elevado conforto), tem-se assistido sobretudo em países da EU, a um progressivo aumento da introdução dos tijolos de furação vertical. Em países como a França, Itália e Alemanha, há já uma forte aposta no tijolo de furação vertical, ao passo que na Península Ibérica o tijolo tradicional é ainda o mais utilizado – facto que tende a inverter-se com a maior divulgação das suas vantagens e economia de custos. Pode afirmar-se que a furação no sentido vertical permitiu triplicar a resistência mecânica, tornando-o mais resistente estruturalmente [77].

Em Portugal, foi constituído um consórcio para desenvolvimento e produção de um novo sistema de alvenarias, designado *cBloco*, para aplicação em alvenaria estrutural ou de enchimento, com características optimizadas de isolamento térmico, mecânico e acústico. É um sistema caracterizado por uma peça base e um conjunto de acessórios (Figura 30) que se complementam e adaptam aos diferentes pontos singulares da construção de alvenaria (remates, colunas, vigas, lintéis, elementos de partição, etc.), cumprindo com as exigências regulamentares. O sistema está adaptado à construção de alvenarias de pano único [77].

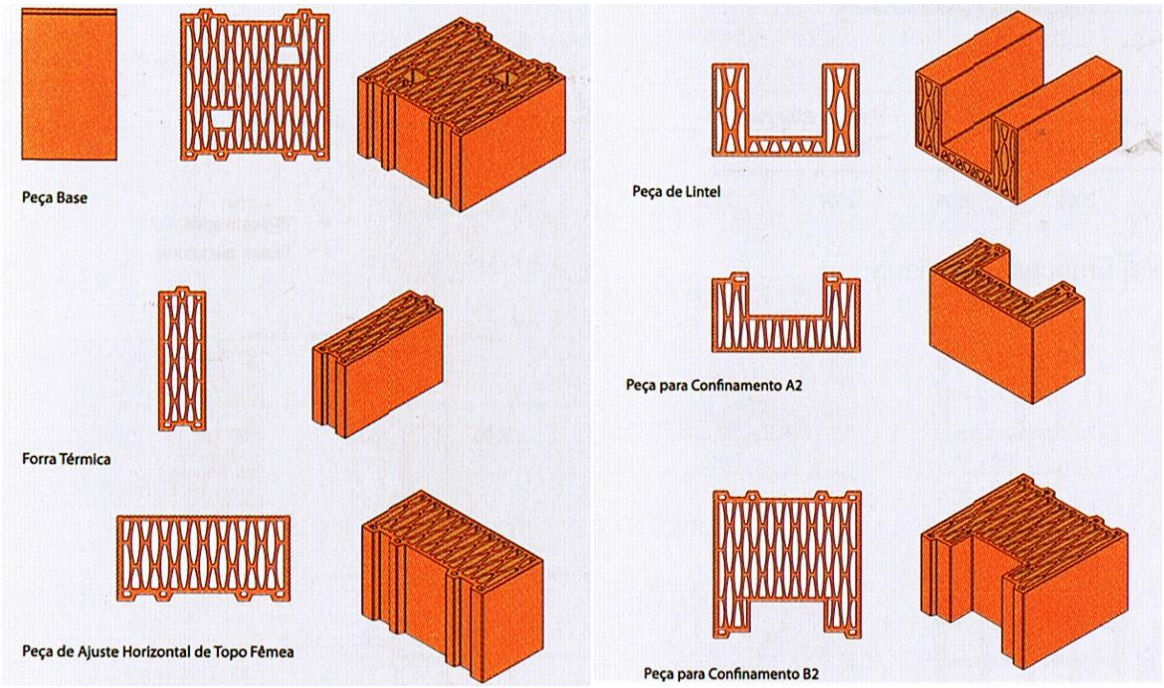


Figura 30 – Peça base e complementares do sistema cBloco [77].

O tijolo tradicional de furação horizontal, com a sua geometria de septos lineares de alvéolos alinhados de face a face, favorece a passagem de energia do interior para o exterior da alvenaria em situação de estação fria. Tal situação e pelo recurso ao Método dos Elementos Finitos, foi adoptada uma peculiar geometria que conduziu à optimização da capacidade de isolamento térmico. Dessa geometria salienta-se o desalinhamento dos septos e alvéolos, tornando mais longo o caminho que o calor tem que percorrer. Os alvéolos, em forma de bago de arroz (Figura 31), permitem reduzir a transmissão de calor por convecção, através de restrições à circulação do ar [77].

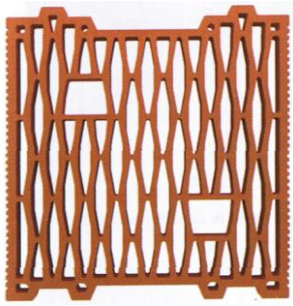


Figura 31 – Geometria da furação do tijolo responsável pela optimização das características isolantes [77].

O material constituinte destes tijolos é uma argila aligeirada, obtida mediante a adição na pasta cerâmica de aditivos de matéria orgânica – pó ou granulado de cortiça, serrim de madeira, fibras de celulose, etc. –, que desaparecem durante o processo de cozedura, produzindo uma porosidade adicional (Figura 32), o que lhe confere melhores características de isolamento térmico [69,77].

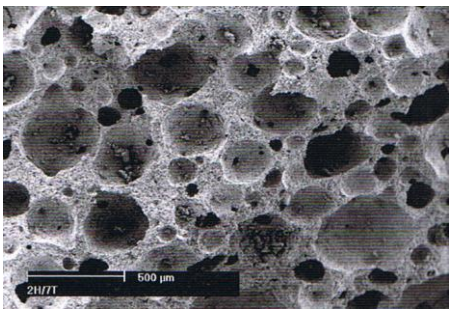


Figura 32 – Pormenor da porosidade aligeirante do cBloco [77].

O sistema cBloco privilegia também poupanças na aplicação de argamassa. A geometria das peças apresenta um remate articulado, facilitando a colocação e possibilitando a dispensa de argamassas nas juntas verticais. Nas juntas horizontais são geralmente dispostas duas bandas contínuas de espessura nunca superior a 15mm e separadas entre si com distância nunca inferior a 120mm [69,77].

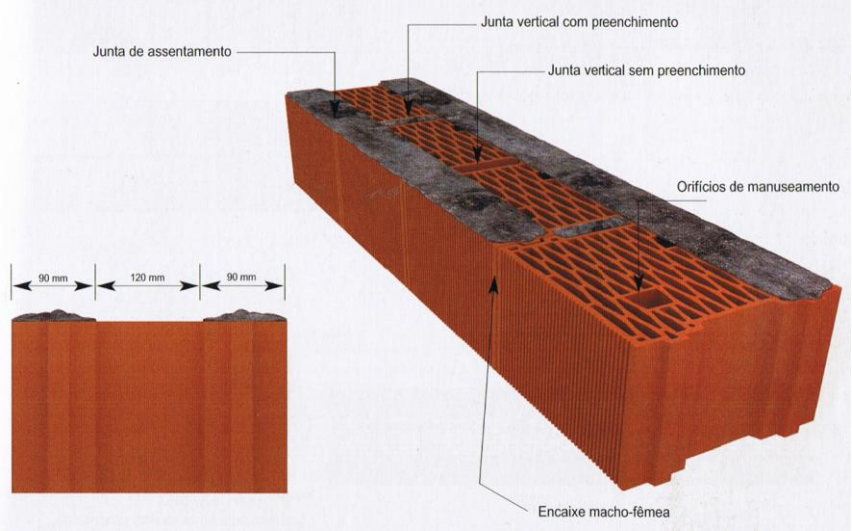


Figura 33 – Poupanças de argamassa devido à geometria do cBloco [77].

É assim um sistema que permite uma elevada inércia térmica das construções, dando cumprimento ao RCCTE e ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), já que acusticamente, a ausência de caixa-de-ar evita ressonâncias. É contudo, como sistema de paredes resistentes, adaptado essencialmente à construção de pequeno porte (edifícios de 2 a 3 pisos) [41,78,79].

Já do ponto de vista da sustentabilidade, está garantida a redução da necessidade de consumo de combustíveis fósseis durante o processo de cozedura, já que é acentuado o conteúdo energético dos resíduos orgânicos adicionados à pasta cerâmica. Facilita a reciclagem dos materiais e o seu potencial de reutilização, pela ausência de isolantes sintéticos e simplicidade construtiva, reduzindo também os resíduos da construção pelo facto de existirem peças específicas adaptadas aos pontos singulares [77]. As propriedades deste tijolo estrutural estão sintetizadas na Tabela 15.

Uma vez que é fabricado quase na sua totalidade por matérias-primas naturais, é um material de construção que não provoca toxicidade ou alergias e não emite radiações. Por esta mesma razão, os seus resíduos e desperdícios são facilmente geridos sem agressão ao Meio Ambiente [69]

Tabela 15 – Principais características técnicas do elemento principal do tijolo cBloco [77].

Tijolo de Furação Vertical	
resistência mecânica	13 Mpa
massa	14 Kg
densidade	1850 kg/m^3
condutibilidade térmica	0,50 W/m·ºC
coeficiente transmissão térmica	0,60 W/m^{2}ºC
índice isolamento sonoro	44 dB
PEC	3,00 MJ/kg
PAG	0,22 kgCO2/kg

4.3.2.3. Estruturas Metálicas Leves

As estruturas leves procuram responder à procura de tecnologias de construção mais avançadas, através da diminuição do consumo de matérias-primas na construção, da sustentabilidade das mesmas e da superior industrialização do processo construtivo, mesmo quando se fala de um material com elevada energia incorporada como o aço [3].

Os sistemas construtivos em estruturas metálicas leves[26] são uma das soluções que surgiram em resposta aos desígnios da construção sustentável, podendo ser aplicada em diversos sistemas construtivos e em diversas tipologias construtivas de edifícios até 2 a 3 pisos [3].

O aço, como material de construção e de um ponto de vista funcional, por ser um material mais resistente que o betão armado, permite a execução de elementos estruturais de menor secção (logo, menor massa). Às propriedades resistentes - garante estruturas mais leves e com menores consumos de matéria-prima - pode aliar-se ao processo de fabrico, que reduz o tempo necessário à construção e por conseguinte uma redução da mão-de-obra e de equipamento pesado (aumentando as condições de segurança e higiene e diminuindo a quantidade de desperdícios). Por outro lado, ao contrário do betão armado, o aço pode ser facilmente reutilizado ou reciclado no final do tempo de vida útil da construção [3].

No âmbito da **sustentabilidade ambiental**, estudos revelam que um edifício em sistema LGSF pode representar até cerca de 40% da massa de um edifício convencional com a mesma geometria, o que confere a este sistema construtivo maior sustentabilidade sob o ponto de vista da preservação de recursos. Quanto ao PEC, apesar da menor massa de um edifício neste sistema equivaler em termos de energia incorporada a um edifício em sistema convencional, esse consumo energético (extracção e fabrico) é facilmente amortizado pela maior longevidade do material aço e da possibilidade de reutilização e reciclagem. Uma vez mais a menor massa dos elementos construtivos permite a diminuição do consumo energético nas operações de transporte, elevação e montagem do sistema. Uma vez que os elementos são produzidos com as dimensões estritamente necessárias num processo produtivo industrializado, é controlada a produção de resíduos [3].

4.3.2.4. Blocos de Betão Celular Autoclavado

Os blocos de betão celular autoclavado (do inglês *autoclaved aereted concrete* – AAC) apresentam todas as propriedades e características para a construção de alvenarias de alta qualidade, nomeadamente, isolamento térmico excelente, elevada resistência à compressão (Tabela 16), incombustibilidade e resistência ao fogo, bom isolamento acústico e facilidade de manuseamento, o que facilita a sua aplicação e economia de mão-de-obra [80].

---

[26] do inglês Light-Gauge Steel Framing (LGSF), obtidas a partir de moldagem a frio de chapa de aço galvanizado de baixa espessura, resultando num peso total dos elementos estruturais bastante baixo.

Apesar de ser reduzida a utilização deste material em Portugal e de estar praticamente limitada à realização de alvenarias não estruturais, pode ser utilizado na realização de elementos construtivos pré-fabricados tais como lajes, paredes e coberturas, devido às grandes vantagens a nível estrutural e de comportamento térmico [3].

Tabela 16 – Propriedades dos blocos de AAC.

Blocos de Betão Celular Autoclavado	
densidade	600 a 720 kg/m^3
resistência à compressão	4,0 Mpa
resistência à tracção	0,8 a 1,6 MPa
condutibilidade térmica	0,16 W/m·ºC
PEC	3,50 MJ/kg
PAG	0,375 kgCO2/kg

Os blocos são constituídos por uma mistura de cimento, cal gorda, areia siliciosa, água e pó de alumínio que terá a finalidade de prover porosidade à mistura. Assim, caracterizam-se como blocos leves, de fácil manuseio e corte, com bom isolamento térmico, incombustíveis, de grande durabilidade e de com resistência mecânica. Como grandes desvantagens, os blocos AAC apresentam um elevado preço relativamente às soluções tradicionais de alvenaria de tijolo (pese embora permitam poupanças significativas de argamassa de assentamento) e o facto de, particularmente no nosso país, estarem associados a sucessivos erros de aplicação que se traduziram no insucesso das suas soluções. No entanto, quando devidamente aplicados são um material competitivo e de alta qualidade [80].

Os impactos inerentes ao fabrico dos materiais constituintes destes blocos são relativos à extracção da matéria-prima e consumos, quer energéticos quer de água. Contudo, o uso da cal durante o processo de fabrico é uma mais-valia já que permite absorver mais CO_2 do que a quantidade que é emitida. Os blocos podem ser reciclados ou valorizados como um agregado secundário por incorporação em processos produtivos [80].

4.4. Paredes exteriores e divisórias

Juntamente com as coberturas e pavimentos exteriores, a principal função das paredes exteriores consiste em estabelecer uma barreira entre os ambientes exterior e interior, reunindo uma série de requisitos que se prendem com a sua estabilidade, durabilidade e estanquidade às intempéries – vento, chuva, radiação solar, calor, ruído, fogo e agentes biológicos [3].

Em geral, dependendo dos objectivos de cada projecto, e porque as paredes exteriores representam a maior área da envolvente exterior (fachadas e empenas) dos edifícios correntes, é dada maior relevância à envolvente vertical exterior dos edifícios, já que é através desta que se processa maior parte das trocas térmicas. Com isto, as soluções construtivas desta parte estrutural devem requerer um estudo cuidado do comportamento térmico, fundamental nas reduções dos consumos energéticos relativas às operações de manutenção do conforto dos ocupantes, com todos os benefícios ambientais que dele resultam [3].

O referido sobre materiais e respectiva agressão ao meio ambiente, através de PEC's e PAG's, são relevantes na consideração da envolvente dos edifícios, onde seriam recomendáveis elementos considerados inertes, fundamentalmente pétreos e cerâmicos [58].

A primeira consideração a ser tomada deve incidir na necessidade de isolar de maneira eficiente a envolvente, já que esta representa a divisão física entre o exterior e o interior dos edifícios e através da qual vão existir transferências energéticas. Assim, um isolamento correcto traduzir-se-á de forma considerável nos consumos energéticos, tanto em aquecimento como em refrigeração do edifício na fase de utilização [58].

Recordando a grande variedade de produtos nesta área, será importante recorrer àqueles que representam menores custos ambientais e que mantêm as exigências das paredes nas suas diferentes camadas, incorporando simultaneamente as estratégias passivas [58].

Se a análise efectuada contempla a elevada inércia térmica no interior da habitação de modo a que a energia solar se incorpore na parede, guardando o calor, devolvendo-o posteriormente, a mesma deve ser dimensionada e preparada para que isto seja possível. Aliás, se o edifício tem uma tipologia eminentemente residencial torna-se fulcral a estabilidade térmica do ambiente interior [58].

Ao observar-se a construção convencional – parede dupla com caixa de ar e isolamento pelo interior –, o isolamento térmico divide virtualmente a parede em duas partes: uma adjacente ao exterior do edifício, com maior massa e como tal com maior capacidade de armazenamento de energia, e a outra, interior, com escassa capacidade de armazenar energia. Assim, com esta solução estão mal aproveitados os benefícios térmico-energéticos, embora tenha sido um impulso na melhoria da inércia térmica dos edifícios e vigente durante largos anos [58].

4.4.1. EVOLUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE ENVOLVENTE EXTERIOR

Para uma optimização no armazenamento de energia foi fulcral uma transfiguração/evolução (Figura 34) desta disposição construtiva, incutindo maior massa ao pano interior - contacto directo com o ambiente a condicionar – e com o isolamento térmico pelo exterior deste pano, impedindo a transmissão energética. Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior de aplicação corrente em Portugal podem dividir-se de forma simplificada em dois tipos: sistemas compósitos de revestimento sobre isolamento térmico (ETICS) e sistemas de fachada ventilada [58,81].

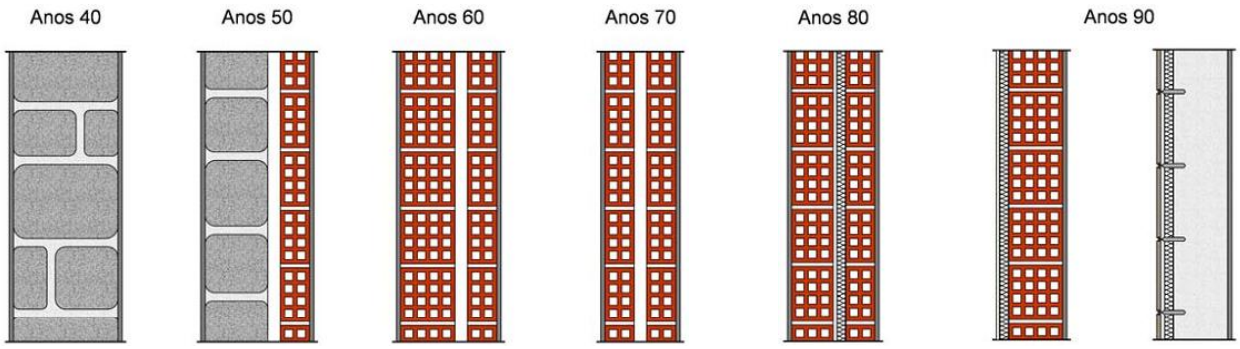


Figura 34 – Evolução das soluções de fachada na construção em Portugal [82].

Com base nos aspectos regulamentares referidos no capítulo anterior – limitações de conforto térmico, satisfação das exigências ao nível das pontes térmicas planas e importância relativa das pontes térmicas lineares – pode verificar-se uma progressiva alteração das soluções adoptadas na concepção das paredes exteriores dos edifícios, entre os quais [81]:

- ✓ adaptações à tradicional solução construtiva de parede dupla de alvenaria;
- ✓ maior disseminação de soluções construtivas com base nos ETICS[27] (actualmente com utilização predominante em intervenções de reabilitação) e fechadas ventiladas;
- ✓ maior recurso a soluções de isolamento térmico pelo interior, com base em painéis (gesso cartonado ou derivados de madeira) associados a um isolante térmico;
- ✓ incremento do uso/desenvolvimento de soluções de paredes simples com isolamento distribuído: blocos cerâmicos com espessura e furação elevada (*vd.* 4.3.2.2), betão leve.e ainda um possível retorno ao uso expressivo de blocos de betão celular autoclavado (*vd.* 4.3.2.4).

[27] *do inglês External Thermal Insulation Composite Systems (sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior).*

Num edifício de habitação com estrutura constituída por pilares, vigas e lajes em betão armado e isolamento térmico aplicado na caixa-de-ar de paredes duplas, e não considerando a correcção das pontes térmicas, poder-se-á verificar um acréscimo de 20% a 30% de perdas térmicas, quando comparadas com a situação de pontes térmicas corrigidas. Adicionalmente, e como já referido, uma ponte térmica aumenta consideravelmente o risco de ocorrência de condensações superficiais, com a consequente formação de patologias [81].

4.4.1.1. Parede Dupla

Ao longo de várias décadas tornou-se corrente a utilização de soluções de parede exterior simples (pano de alvenaria de tijolo cerâmico furado, de blocos de betão leve ou betão normal) com espessura mínima recomendada entre 20 a 22cm (excluindo revestimentos). Contudo, era permitida a execução de paredes com espessuras inferiores que viriam a originar graves problemas estruturais ao nível da fendilhação, infiltrações de águas pluviais, condensações superficiais e problemas ao nível do conforto térmico dos ocupantes. Com a entrada em vigor no início da década de '90 da anterior regulamentação térmica dos edifícios[28] ficaram vulgarizadas as soluções de paredes duplas com panos de alvenaria de espessura entre 7 a 15cm, que, mesmo não exigido no referido regulamento, se foi progressivamente adaptando com a introdução de um isolante térmico na caixa de ar, preenchendo-a parcial (anexa ao paramento interior) ou totalmente. Os isolamentos utilizados eram sobretudo as placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS) e como solução mais recente, a espuma rígida de poliuretano (PUR) projectado, com espessuras que variavam entre os 2 e 3cm [81].

Apesar da solução de isolamento térmico nos paramentos exteriores dos edifícios, os elementos estruturais – pilares, vigas e lajes – continuaram a ser apenas cobertos pelo revestimento da superfície exterior da parede. Esta falta de correcção térmica e de outros factores adversos conduziram à ocorrência de condensações superficiais interiores localizadas nesses elementos, o que levou, mediante a legislação referida em vigor, ao uso de soluções de correcção térmica simples e duplas, realizadas pela aplicação de forras térmicas – elementos cerâmicos de espessura reduzida com furação. A concepção inadequada ou mesmo inexistente destas soluções tornou-as originárias, com alguma frequência, da ocorrência de situações de patologia mais ou menos graves [81].

A partir de 2006, tais soluções deixariam de ser satisfatórias em termos regulamentares, continuando contudo a justificar-se a adopção de soluções adequadas, independentemente da implementação de outras medidas visando o cumprimento das exigências do novo RCCTE, que entraria em vigor a 4 de Abril. Foi assim incrementado o recurso a soluções de isolamento térmico pelo exterior das pontes térmicas planas com base na aplicação de produtos isolantes térmicos e produtos de condutibilidade térmica baixa. Estas soluções devem ser encaradas com reservas e ser alvo de estudos de apreciação técnica e de execução cuidada já que, à partida, se levantam questões

[28] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios: DL nº 40/90 de 6 de Fevereiro*

relacionadas com a aderência do revestimento aos isolantes e com a própria aderência destes (fixação) ao suporte, com os riscos de fendilhação dos revestimentos devido às diferentes características térmicas, hídricas e físicas dos suportes (alvenaria, isolantes) [81].

Sejam estas correcções, por aplicação do isolamento térmico nas superfícies exterior ou interior, criar-se-á uma falta de continuidade do isolamento que potenciará uma zona de transferência térmica linear que em condições adversas pode também ela originar condensações superficiais localizadas. Este problema poderá ser amortizado quando na sua concepção, a parede dupla seja erguida com pelo menos um dos panos em conjunto com o isolante térmico (Figura 35) [81].

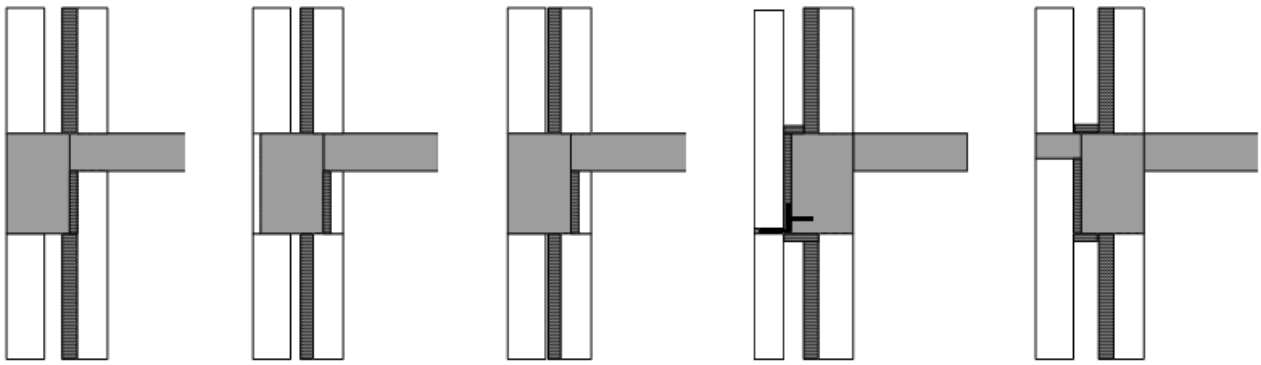


Figura 35 – Soluções esquemáticas de paredes duplas visando a correcção das pontes térmicas planas [81].

4.4.1.2. Isolamento térmico pelo exterior

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior de aplicação corrente em Portugal dividem-se de forma simplificada em ETICS e sistemas de fachada ventilada. Ao mesmo tempo que se reconhecem grandes vantagens deste tipo de soluções – reabilitação térmica pelo aumento do nível de isolamento térmico e minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais interiores – é também reconhecido o seu custo elevado [81].

Nestes sistemas não tradicionais é essencial o tratamento, habitualmente descurado, de pontos singulares (ângulos, remates, ligações, *etc*.) e deve ser contemplada uma apreciação técnica idónea como uma homologação ou aprovação técnica europeia. Neste sentido e como factores indispensáveis para uma qualidade de execução do sistema e bons resultados finais, nunca será demais insistir na necessária experiência e conhecimento de técnicos e aplicadores envolvidos [81].

Nos **sistemas do tipo ETICS** nem todas as aplicações têm obtido resultados satisfatórios, seja pelo incumprimento das razões atrás invocadas, ou pelo registo de casos (particularmente na região norte do país) de desenvolvimentos biológicos no paramento exterior destes sistemas, conferindo um aspecto desagradável de envelhecimento prematuro [81].

Os sistemas convencionais realizados apresentam pequenas variações relativamente a uma solução geralmente constituída por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), fixadas (através de um produto pré-preparado para fixação por aderência) ao suporte – *e.g.* paredes de betão, em alvenaria de tijolo ou em blocos de betão leve ou celular –, e revestidas por um reboco delgado com rede de fibra de vidro e cujo acabamento poderá ser constituído por um revestimento plástico espesso (Figura 36) [82].

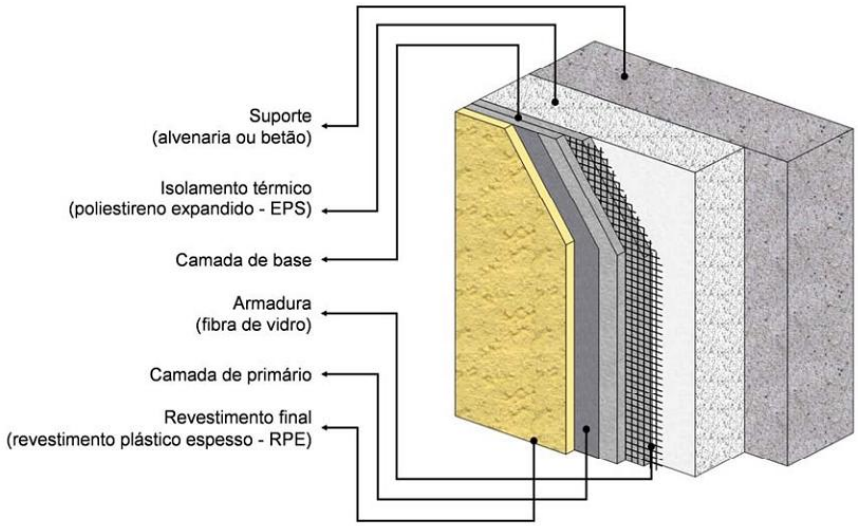


Figura 36 – Representação esquemática de um sistema ETICS [82].

Em Portugal, à semelhança de outros países europeus, os sistemas do tipo ETICS têm tido uma preferência significativa em intervenções de reabilitação da envolvente opaca exterior vertical (empenas e fachadas). Similarmente, também as **soluções de fachada ventilada** se têm associado a uma imagem de qualidade e prestígio pelas suas aplicações em intervenções de reabilitação, sobretudo em fachadas ou empenas com graves problemas de degradação. Estes sistemas de parede ventilada resultam da procura de soluções de envolventes verticais cada vez menos espessas (por conseguinte mais leves) compostas por uma série de camadas com funções cada vez mais específicas [3,81].

É uma solução (Figura 37) caracterizada por revestimento exterior descontínuo, fixado mecanicamente a uma estrutura independente (pontual ou linear) de suporte à qual se fixa (por colagem ou fixação mecânica) um isolante térmico, com existência de um espaço de ar ventilado entre ambos, contribuindo para a remoção da humidade existente nesse local, permitindo a utilização de isolantes orgânicos (*e.g.* cortiça e fibra de coco) que por serem mais sensíveis a tais adversidades não são utilizados correntemente nas soluções de isolamento da envolvente exterior. O revestimento descontínuo actua como uma barreira que protege o isolamento contra as intempéries (vento, radiação solar, água, *etc*.) salvaguardando a durabilidade do isolante e da própria solução [3,81].

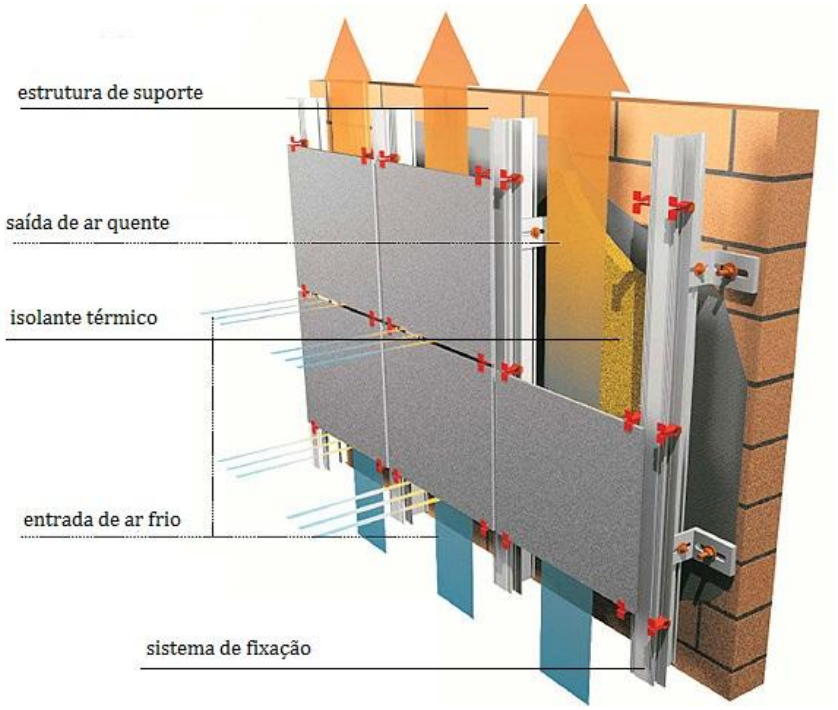


Figura 37 – Representação esquemática de uma fachada ventilada [disset.es].

4.4.1.3. Isolamento térmico pelo interior

Estas soluções têm por base a utilização de um isolante térmico localizado entre a superfície interior do elemento de suporte (alvenaria, betão, etc.) e a solução de revestimento – geralmente constituída por painéis de gesso cartonado, placas de madeira ou derivados ou eventualmente por ligantes hidráulicos ou mistos. Por se resguardarem no paramento interior da envolvente vertical, além dos mais comuns isolantes EPS, XPS e PUR, podem contemplar soluções de isolamento orgânicas como o caso da lã mineral (MW) [81].

Apesar de ter sido considerada interessante, por diversas razões, em intervenções de reabilitação, verificou-se contemporaneamente a crescente utilização em construção nova. O custo e a rapidez de execução destas soluções permitiu ultrapassar a reacção desfavorável dos aspectos negativos relativamente à falta de "solidez" – deformabilidade e degradação sob acção de choques, sonoridade ao toque e dificuldades de fixação de objectos mais pesados. Garantem-se ainda a obtenção dos níveis de isolamento térmico e da correcção das pontes térmicas planas regulamentados. Contudo, fica evidente a desvantagem da contribuição da massa de alvenaria exterior para a inércia térmica interior, impedindo a redução da influência das pontes térmicas lineares [81].

Similarmente ao referido nas soluções de isolamento pelo exterior e sob o risco de comprometer o desempenho global da envolvente exterior, não devem ser ignorados os aspectos de pormenorização dos pontos singulares e a necessidade de execução por mão-de-obra experiente e qualificada [81].

4.4.2. SOLUÇÕES DE ENVOLVENTE INTERIOR – PAREDES DIVISÓRIAS

As paredes divisória interiores podem dividir-se em dois grupos: as tradicionais partições fabricadas *in situ* em panos de alvenaria de tijolo ou de outros blocos (blocos de betão leve com argila expandida ou fibras naturais, blocos de AAC, *etc.*) e os painéis pré-fabricados que, pela versatilidade e simplicidade de construção elevam a capacidade de transformação do interior do edifício – são geralmente painéis de aglomerados e/ou contraplacados de madeira aparafusados a uma estrutura de aço ou de madeira [58].

4.5. Lajes e coberturas

As coberturas, são consideradas como "a quinta fachada" já que abrangem igualmente uma amplitude de opções similares quanto à correspondência entre as estratégias passivas de captação energética e as diversas disposições construtivas admitidas na prática convencional [58].

Um telhado convencional é formado pelo suporte estrutural (laje) e uma série de camadas contíguas em contacto que pretende expelir a água da chuva e minimizar as transferências energéticas no seu seio. Reconhecida a eficácia quanto à primeira função – sempre que correcta a execução – existem ainda sérias dúvidas quanto à segunda, sobretudo se for tido em conta que as coberturas são a "fachada" na qual incide maior radiação solar na estação quente. Algumas soluções adaptadas são agravadas pelo revestimento de pavimentos cerâmicos e pétreos de cor escura ou pela distribuição de cascalho quando a cobertura não é acessível – a acumulação de calor em materiais que potenciam a sua absorção, intensifica as transferências de calor incrementando os custos energéticos necessários para arrefecimento. O mesmo sucede nas coberturas inclinadas convencionais (telhados) que protegem espaços habitáveis [58].

4.5.1. COBERTURAS AJARDINADAS

Soluções de coberturas "verdes" ajardinadas têm sido uma aposta cada vez maior por parte de empreiteiros e projectistas. Análises do CCV revelam que o custo destas soluções se aproxima das soluções de cobertura tradicionais, proporcionando e impulsionando significativas melhorias sociais, ambientais e económicas, numa perspectiva de natureza pública e privada dos consumidores/utilizadores [46].

Não se trata contudo de uma solução recente, uma vez que fizeram parte da identidade construtiva de diversos países durante centenas de anos (ou até mesmo milhares), muito devido às excelentes propriedades isolantes da combinação das camadas solo-vegetação que nos climas polares – *e.g.* Islândia e Escandinávia – tendem a manter quentes o interior da habitação, ao passo que nos climas quentes – *e.g.* Tanzânia – mantém as condições de conforto de Verão [46].

Até metade do séc. XX, as coberturas ajardinadas eram vistas unicamente como práticas de construção vernaculares, até que na década de 60 com as crescentes preocupações da qualidade do

ambiente urbano e o rápido declínio dos espaços verdes renovou-se o interesse por este tipo de "soluções verdes" encetadas na Alemanha e Suíça [46].

São soluções que beneficiam a qualidade dos edifícios devido a:

- ✓ melhorarem a **eficiência na retenção da água**;
- ✓ contribuírem para a **optimização ambiental** – através da criação de monoclima beneficiador da qualidade e temperatura do ar, da absorção dos GEE e demais gases poluidores, da redução do efeito "ilha de calor" principal causador da produção de ozono;
- ✓ constituírem **habitats para animais e plantas**;
- ✓ apresentarem **excelente comportamento mecânico** – protege a cobertura de danos e das radiações ultra-violeta (aumentando assim o ciclo de vida da solução), aumenta a capacidade de isolamento térmico de redução dos sons por via aérea.

A funcionalidade da solução de cobertura será inerente ao projecto e finalidade da mesma. Às questões de estética estão inerentes diferenças na espessura da vegetação, o programa de manutenção e o custo total das soluções adoptadas [46].

Também a localização destas coberturas num edifício têm um papel importante: a altura acima do solo, a sua exposição às intempéries, a orientação solar e o sombreamento da cobertura nas várias fases do dia, juntamente com o clima da região e o possível microclima instalado na cobertura, e até as vistas do e para o telhado são determinantes na maximização da eficiência destas soluções [46].

O actual uso de plantas em coberturas e fachadas de edifícios distingue-se pela integração das zonas de plantação no próprio edifício, bem como a utilização de modernos materiais (substratos de plantação, etc.) e técnicas (sistemas de rega, etc.) [83].

As novas técnicas reconhecem dois tipos principais de classificação:

As **coberturas ajardinadas intensivas** são semelhantes aos antigos jardins de cobertura, onde se espera que as pessoas utilizem essa área ajardinada como um jardim convencional, e como tal seja intensiva a sua manutenção, com necessidade de um sistema de irrigação artificial. A profundidade do perfil de solo ou da camada de substrato é de, pelo menos 15cm mas, utilizam-se actualmente substratos mais leves, de modo a minimizar a carga sobre a estrutura do edifício [83,84].

As **coberturas ajardinadas extensivas** são uma solução usada para reduzir as operações de manutenção ao mínimo (Figura 38), cujo tratamento (usualmente irrigação natural) é efectuado em toda a área. Assentes em diminutas espessuras de solo ou substrato (entre 2 a 15cm) representam soluções leves e com implicações estruturais mínimas para o edifício [83,84].

Figura 38 – Exemplo cobertura ajardinada extensiva – Abbey, Escócia [84].

Na Tabela 17 estão descritas as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos de coberturas ajardinadas.

Tabela 17 – Principais vantagens e desvantagens associadas aos dois tipos de coberturas ajardinadas

	Intensivas	**Extensivas**
Vantagens	grande diversidade de plantas e habitats boas propriedades de isolamento são usualmente acessíveis, o que confere versatilidade à utilização do telhado (recreio, cultivos, espaço *open-air*) maior eficiência energética e maior capacidade de retenção de águas pluviais maior tempo de vida útil dos compenentes (membrana, camada drenante, isolamentos)	maior leveza do peso estrutural aplicável a grande áreas de cobertura desnecessários sistemas de irrigação e drenagem especiais aplicável a coberturas inclinadas solução relativamente barata: reduzida manutenção (vegetação cresce espontâneamente) e longo tempo de vida útil
Desvantagens	maiores custos de investimento e manutenção maior complexidade dos sistemas e maior peso estrutural das soluções necessidades do consumo de água, equipamentos e energia para os sistemas de irrigação e drenagem	geralmente inacessível para qualquer utilização limitação na escolha de vegetação menor eficiência energética e menor capacidade de retenção de águas pluviais

Um outro conceito mais recente tem vindo a ser desenvolvido: **coberturas ajardinadas semi-extensivas**. A filosofia do mínimo input ecológico é respeitada, sendo utilizados perfis de substrato leves (entre 10 a 20cm) que permitem uma mais vasta escolha de flora a utilizar e potenciar a relativa acessibilidade destas soluções

4.6. Elementos complementares de fachadas

As fachadas dos edifícios foram idealizadas pelo Homem no sentido da sua protecção e segurança, pessoal ou relativamente às intempéries. Da conjugação com aberturas para o exterior, através das janelas e portas, para além da acessibilidade que lhes está associada, garantiram-se as funções básicas de iluminação natural, de vistas e de ventilação dos espaços. Apesar da importância da primeira versão do RCCTE, de 1990[29], alterando significativamente questões da qualidade térmica das construções e da necessidade de redução dos consumos energéticos, resultaram fachadas mais estanques com reduzidas garantias de ventilação natural e da qualidade do ar interior [85].

A preocupação em aliar o uso racional de energia e o conforto ambiental dos ocupantes num edifício, tornou-se mais evidente com a entrada em vigor do novo RCCTE, já que impõe requisitos mínimos e de referência para a qualidade térmica da envolvente (*vd.* 3.2 e 4.4) e exige um número mínimo de renovações de ar, garantindo a higiene e conforto. Com isto, as fachadas passaram a ser vistas como um meio de trocas térmicas entre o interior e o exterior do edifício (Figura 39), com potencial impacto no conforto dos ocupantes e para a eficiência energética do mesmo [85].

Com o surgimento da estrutura porticada em betão armado, nos anos '50, o preenchimento dos vãos da estrutura passou a ser constituído por materiais mais leves – *e.g.* tijolo vazado – que, aliado à evolução da indústria do vidro, facilitou a execução de fachadas com áreas envidraçadas cada vez maiores. De facto, dentro das componentes da fachada, as janelas são aquelas cuja influência no desempenho ambiental do edifício e no conforto dos ocupantes pode ser mais significativo, pelo que se impõem cuidados especiais no seu projecto.

Figura 39 – Perdas energéticas através das trocas térmicas com o exterior pelos diferentes elementos de fachadas [86].

[29] *Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro.*

4.6.1. CAIXILHARIAS E ENVIDRAÇADOS

Entre os materiais mais utilizados no fabrico de caixilharias (Tabela 18) dos vãos envidraçados temos [85,87]:

- ✓ **Madeira** –tem vindo a ser substituído pelo alumínio e o PVC, não só pelo seu custo elevado em relação aos mesmos, mas também pelo mau desempenho muitas vezes registado (devido à sensibilidade climatérica, são comuns contracções, dilatações e empenos) que leva a elevados custos de manutenção ou à própria substituição; é contudo, um bom isolante térmico e acústico;
- ✓ **Alumínio** – material que enquanto aplicação como caixilharia dispensa manutenção regular, pela sua resistência (por exemplo, à corrosão) e durabilidade; adapta-se com facilidade a diversos estilos arquitectónicos pela vasta gama de cores e acabamentos, mas está bastante limitado quanto a isolamento térmico e acústico;
- ✓ **PVC** – apresenta boas características isolantes, térmicas e acústicas e de resistência; ao nível estético permite acabamentos em diversas cores e imitações de outros materiais – *e.g.* madeira.

Tabela 18 – Comparação das propriedades de materiais convencionais para caixilharia [87].

	Madeira	PVC	Alumínio
Durabilidade	tempo indefinido	entre 50 a 100 anos, sempre dependente da utilização	tempo útil não conhecido totalmente, pela constante evolução
Extracção	actividade penosa se não feita de forma racional e programada	material derivado do petróleo, cuja extracção pode ser bastante gravosa para o ambiente	material muito penalizador para o ambiente (diversas fases e transporte desde a extracção da bauxita até à transformação final
Emissão de gases	sem emissão de gases tóxicos	potenciais emissores de formaldeídos	—
Resistência a agentes biológicos	vulnerável à decomposição biológica	resistente à decomposição biológica	resistente à decomposição biológica
Degradação	material biodegradável	não biodegradável (mais de 100 anos até à sua decomposição no ambiente)	não biodegradável (mais de 500 anos até à sua decomposição no ambiente)
Reciclagem	material reciclável para dar origem a outros productos à base de madeira	reciclável por se tratar de um termoplástico (passível de ser moldado e fundido diversas vezes)	material totalmente reciclável
Relação da Energia Incorporada	1	6	126

Na Figura 40 está esquematizada a energia dissipada por elemento de fachada, onde é visível que o sistema envidraçado/caixilharia e caixas de estores são as zonas de maior dissipação. A qualidade da caixilharia é, juntamente com o próprio vidro, importante na monitorização dessa energia, que se torna ainda mais importante quando se opta por vidros cada vez mais isolantes [85].

Figura 40 – Termografia de fachada convencional [86].

Quando elementos construtivos possuem um nível de isolamento bastante reduzido, como o caso dos envidraçados e respectivas caixilharias, além das diferentes soluções que cada material apresenta que lhe conferem diferentes valores de U (Tabela 19), também a cor pode ter uma influência significativa para os ganhos de calor do exterior. Assim, as caixilharias devem ser de cores claras, ao invés de cores escuras já que estas conduzem a maiores cargas térmicas [85].

Tabela 19 – Valores do coeficiente de transmissão térmica para os diferentes tipos de caixilharia [85].

Material do caixilho		**Valor de U** (W/m²ºC)
Madeira	espessura média >80mm	1,6
	espessura média 50-80mm	2,0
	espessura média <50mm	2,8
PVC	sem reforço de metal	2,8
	com reforço de metal	3,6
Alumínio	com rotura térmica de comprimento <10mm	3,6
	com rotura térmica de comprimento >10mm	5,0
	sem rotura térmica	7,0

O aumento da estanquidade que se tem vindo a evidenciar nos elementos de caixilharia revela-se uma vantagem na diminuição das perdas energéticas por infiltração, no entanto conduz à falta de ventilação natural. Desta limitação, passível de originar problemas de condensações e ao aparecimento de fungos e bolores, surgiram no mercado caixilharias ventiladas que permitem, sem intervenção dos ocupantes, ventilar adequadamente os espaços ao mesmo tempo que protegem os edifícios do ruído exterior e minimizam as trocas de calor com o exterior.

4.6.2. ILUMINAÇÃO NATURAL

Da energia eléctrica utilizada para iluminação artificial, apenas cerca de 18% se transformam em luz. Com isto, importa melhorar a eficiência das lâmpadas e luminárias com o objectivo de incentivar aos ganhos energéticos de uma forma substancial; releva-se, contudo, a importância de

equipamentos de regulação, programadores electrónicos, temporizadores, que permitem adequar o funcionamento da iluminação artificial à necessidade real dos consumidores, por balanços efectivos e permanentes da ocupação do edifício ou da iluminação natural existente [58].

Existem no mercado, com o conhecimento da grande maioria dos consumidores, lâmpadas de baixo consumo que permitem ganhos energéticos até 80% e que garantem uma vida útil até dez vezes superior às lâmpadas convencionais. Atendendo a que o consumo de energia dos edifícios representa 21% do consumo final total, dos quais cerca de 25% é relativo a iluminação e electrodomésticos, dever-se-á a continuar a incentivo, não só do aumento da eficiência das lâmpadas e luminárias, como o aproveitamento da iluminação natural como medida de poupança energética.

Pelo referido (*vd.* 3.3), compreende-se que o potencial de redução de energia eléctrica pela integração de luz natural no sector da habitação não seja tão significativo quando comparado com edifícios de serviços/comerciais. No entanto, o aproveitamento da iluminação natural contribui de forma bastante positiva para o aumento da qualidade do ambiente, e globalmente, na redução do consumo de energia eléctrica. Apesar de ser ainda diminuta a investigação, no âmbito da iluminação natural em edifícios residenciais – o que leva a crer que possam ser reduzidos os benefícios dessa iluminação, já que muitos dos edifícios residenciais se encontram desocupados durante o dia/exposição solar – o maior argumento para os edifícios residenciais iluminados naturalmente vem da preferência dos ocupantes. Um espaço bem iluminado naturalmente é tido como mais saudável, dinâmico e sobretudo com uma qualidade de iluminação dificilmente quantificada pelos consumidores. Estudos confirmam uma melhoria da produtividade e bem-estar dos ocupantes quando em espaços iluminados naturalmente [85].

Quando, por razões arquitectónicas estiverem limitadas as exposições solares a espaços que se querem iluminados naturalmente, são já comercializados tubos solares; sistemas ecológicos, onde a luz natural é captada e orientada através de condutas herméticas para os espaços interiores do edifício (Figura 41) [88].

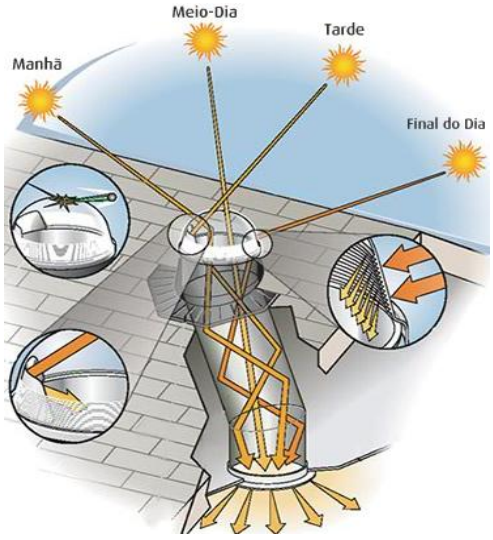


Figura 41 – Tubo solar de captação da luz solar e redireccionamento para o interior do edifício [89]

Existem no mercado soluções de tubo rígido ou flexível que melhor se adequam a diferentes distâncias e tipos de cobertura (planas ou inclinadas) [89]; são, no seu interior, revestidos por material extremamente reflector, que minimiza a dispersão dos raios e permite um fornecimento de luz a distâncias consideráveis, minimizando as transmissões de calor ou frio. A cúpula, montada no telhado, recebe a luz solar e ao longo do dia, o espelho parabólico e o padrão de prismas na base da cúpula redireccionam a luz natural, optimizando a captação de acordo com a posição do sol [88].

4.7. Acabamentos

A indústria química abraçou um conceito que dominara (e ainda domina) o período do pós-guerra nas sociedades actuais: os produtos fabricados devem ser práticos, baratos, de fácil aplicação, "limpos" e sobretudo rápidos, tanto no seu fabrico como na sua aplicação. Esse objectivo foi de facto atingido sem, contudo, se ter em conta as consequências para a saúde humana e contaminação ambiental assim como os potenciais de reciclagem.

O resultado é dramático: é interminável o número de doenças associadas a substâncias químicas nocivas conhecem-se já mais de 50.000 substâncias tóxicas usadas na construção e decoração dos edifícios, na sua maioria presentes em tintas, vernizes, fungicidas e insecticidas (produtos utilizados ao longo das últimas décadas e que todavia continuam a ser comercializados apesar do conhecimento dos efeitos nocivos dos seus componentes).

4.7.1. TINTAS E VERNIZES NATURAIS

Na década de 70, principalmente quando ficaram conhecidos os problemas causados pelo uso de tintas com componentes nocivos – *e.g.* desastre de Seveso, Itália –, foram formadas as primeiras empresas especializadas no fabrico de pinturas naturais, com o principal objectivo de oferecer uma alternativa aos produtos convencionais, substituindo a química nociva pela denominada química suave (cuja base são as matérias primas naturais de origem vegetal e mineral) [90].

Para acentuar essa diferença, estabeleceu-se que [90]:

- ✓ o fabricante das tintas naturais declara toda a composição em cada um dos seus produtos, concedendo ao consumidor o direito de saber o que está a utilizar, evitando indirectamente problemas de alergias ou outros;
- ✓ o fabrico destes produtos respeita totalmente o meio ambiente, tanto no processo de produção como na reciclagem de matérias primas e embalagens;
- ✓ as tintas naturais não contêm qualquer tipo de substâncias nocivas nem libertam gases tóxicos, quer seja na sua produção, aplicação ou na posterior reciclagem;
- ✓ as tintas naturais seguem os princípios da construção sustentável: são transpiráveis e permeáveis ao vapor de água, são bons reguladores da humidade e as superfícies tratadas não são carregadas electrostaticamente

Uma vez que é na composição que radica a principal diferença entre as tintas convencionais e as naturais, importa descrever comparativamente as substâncias aplicáveis. Na Tabela 20 estão apresentados os ligantes passíveis de fazerem parte da composição nas tintas.

Tabela 20 – Ligantes constituintes de tintas convencionais e de tintas naturais [90].

Ligantes	
Convencionais	*Naturais*
estireno[1]	latex natural
resinas[2] alquídicas	azeite vegetal
resinas epóxi	cera natural
resinas de melamina	caseína

[1]derivado do benzeno e declarado como cancerígeno

[2]as resinas podem provocar problemas respiratórios e de pele

Os componentes das tintas convencionais, na sua grande maioria, estão declarados como nocivos, sendo que alguns países excluem já do mercado produtos com tolueno. Na Tabela 21 resumem-se os solventes vulgarmente utilizados no fabrico de tintas convencionais e naturais.

Tabela 21 – Solventes constituintes de tintas convencionais e de tintas naturais [90].

Solventes	
Convencionais	*Naturais*
água	
hidrocarbonetos aromáticos[3]	
hidrocarbonetos alifáticos	água
hidrocarbonetos clorados	azeite cítrico[4]
glicóis	
alcoóis	

[3]tolueno, xileno, estireno, *etc.*

[4]prensagem e destilação da casca de citrinos, para eliminação da água e possíveis impurezas

Na Tabela 22 são apresentados os conservantes comummente utilizados em tintas e vernizes convencionais, bem como os passíveis de serem constituintes de tintas e vernizes naturais:

Tabela 22 - Conservantes constituintes de tintas convencionais e de tintas naturais [90].

Conservantes	
Convencionais	*Naturais*
formaldeído	sais bóricos
pentaclorofenol	azeites etéricos
policlorados	silicato de potássio
piretro químico	

Quanto à pigmentação, as tintas naturais têm origem vegetal ou mineral – óxidos de metal, espinela, argila, *etc*. –, que passam por processos de limpeza físicos. A pintura convencional continua a empregar componentes nocivos, principalmente metais pesados: cádmio, chumbo, compostos de níquel, *etc*. [90].

As tintas e vernizes naturais oferecem actualmente uma gama de produtos abrangente quanto ao tratamento de superfícies – fungicidas e insecticidas naturais, conservadores de madeira, paredes interiores e exteriores, *etc*. – com qualidades técnicas igualáveis ou mesmo superiores relativamente às tintas e vernizes convencionais [90].

Tendo em conta o rendimento qualitativo e quantitativo dos efeitos de produtos naturais sobre a saúde humana e a transparência exigida actualmente pelos consumidores, a utilização de tintas e vernizes naturais em geral, será algo banal no futuro [90].

4.7.2. REVESTIMENTOS

As argamassas de revestimento, vulgarmente designadas por reboco, podem ser divididas em revestimentos de interior ou exterior e de aplicação manual ou mecânica [46].

Os rebocos de paramentos exteriores têm que ser resistentes a intempéries, resistir a variações de humidade e temperatura, fornecendo simultaneamente protecção adequada contra a chuva forte – requisitos particularmente satisfeitos por argamassas à base de cal e/ou de cimento ou argamassas que incorporem resinas sintéticas [46].

As argamassas para aplicação em paramentos interiores devem, acima de tudo, ser respiráveis, resistentes à abrasão e adequadas à aplicação de elementos/revestimentos decorativos. Estes rebocos são geralmente compostos à base de cimento, de gesso ou de cal, ou mesmo de uma combinação entre os mesmos – *e.g.* gesso de cal –, e recentemente, com impacto modesto no mercado actual têm sido utilizados rebocos à base de argila devido às suas excelentes credenciais ambientais [46].

Na composição do reboco, os materiais referidos (cimento, cal, gesso e argila) funcionam como ligantes, que, por junção à água e ao agregado (geralmente areia) se tornam numa mistura maleável coesa e de fácil aplicação nas superfícies a revestir. No processo de cura da solução (evaporação da água) os ligantes e o agregado formam um acabamento rígido de protecção. Como complemento a estas soluções de revestimento são comuns as adições de fibras – palha, fibras de cânhamo, malhas de fibra de vidro, de plástico ou aço, etc., que melhoram a tensão e a elasticidade da solução – e aditivos – empregues para melhorar significativamente a plasticidade, trabalhabilidade e durabilidade, para reduzir o tempo de cura ou para revestir a argamassa de alguma cor [46].

V. CASO DE ESTUDO – CENTRO URBANO DE ÁGUEDA

5.1. Introdução

Numa parceria entre a Câmara Municipal de Águeda (CMA) e a centroHabitat – Plataforma para a Construção Sustentável, pretende-se desenvolver um projecto com o objectivo de promover a inovação e adequação dos espaços da cidade a novas necessidades das populações locais, com o desenvolvimento de novos modelos construtivos que estimulem a reabilitação sustentável do centro urbano, tornando-o mais atractivo a potenciais habitantes.

O plano de trabalhos compreende diversas fases como sendo o levantamento arquitectónico e patológico (através de documentação fornecida pela CMA e levantamento de inquéritos no local) para selecção de edifícios-alvo, com a perspectiva de desenvolver cadernos de encargo tipo para os edifícios seleccionados. Com isto, identificam-se os principais problemas e respectivas soluções construtivas tipo, de modo a que os cadernos de encargos constituam um referencial para qualquer intervenção de reabilitação à luz da sustentabilidade e que satisfaçam alguns critérios funcionais, tais como:

- ✓ **Mobilidade e acessibilidade** – conjunto de soluções técnicas que permita a grupos com mobilidade condicionada ultrapassar as barreiras arquitectónicas de acessibilidade no edifício;
- ✓ **Conforto térmico e acústico** – intervenções inovadoras que dotem os edifícios de isolamento térmico e acústico para elevar as condições de conforto, sem desprimor para com os consumos energéticos;
- ✓ **Segurança** –soluções construtivas e de materiais que promovam a segurança do utilizador e do próprio edifício, nomeadamente em termos de segurança contra incêndios, de capital importância nos centros urbanos também pelo seu valor patrimonial e histórico;
- ✓ **Valorização arquitectónica** – incentivar propostas contributivas para a valorização arquitectónica do edificado;
- ✓ **Sustentabilidade da construção** – garantir critérios da sustentabilidade do ambiente construído (questões de eficiência energética e hídrica, e aproveitamento dos recursos da região.

5.2. Ambiente construído e área de intervenção

Numa tentativa de diminuir a amostra e de se focar o ambiente construído da baixa da cidade de Águeda, os edifícios estudados concentram-se na Rua 5 de Outubro e na Rua Luís de Camões, conforme ilustrado na Figura 42.

Figura 42 – Zonas da baixa de Águeda cujos edifícios foram alvo de estudo.

A partir da avaliação preliminar dos inquéritos e dos levantamentos fotográficos e patológicos realizados, constata-se que 65% dos edifícios no centro urbano de Águeda se encontram desocupados nos pisos superiores, sendo as actividades comerciais a ocupação maioritária do rés-do-chão. A faixa etária dos utilizadores situa-se acima dos 50 anos. Com base no valor arquitectónico do ambiente construído encontram-se alguns casos de permanência secular, com uma história pessoal e social no contexto local do município de Águeda.

Destacam-se os sistemas construtivos em adobe, sobretudo nas fachadas exteriores, e casos pontuais de edifícios em pedra emparelhada irregular e com cantaria em pedra. As janelas são, ainda e na grande maioria, constituídas por caixilharia de madeira com vidro simples. Por norma, as fachadas têm revestimento de reboco pintado, mas há uma aplicação maioritária do revestimento cerâmico (recurso natural da região), sobretudo nas fachadas de pisos inferiores, tendo em conta a cota de cheia que se assinala no centro urbano periodicamente na estação chuvosa. No interior dos edifícios visitados verificaram-se estruturas em madeira, normalmente em estado avançado de degradação, e a existência de logradouros. Relevam-se neste ambiente construído elementos cerâmicos e o trabalho a nível de cantaria, mas também a necessidade de reabilitações profundas em muitos dos edifícios (muitos deles implantados na zona de cota de cheias).

5.2.1. EDIFÍCIOS EM ESTUDO

A diversificação física que se regista nos 51 edifícios implantados nas referidas ruas, permitiu efectuar uma separação por grupos que, além de uma selecção mais apurada fosse evitado o risco da escolha de edifícios com características semelhantes. Assim, e com a parceria da própria CMA, foi efectuado o processo de selecção dos edifícios, tendo em conta os seguintes aspectos:

- ✓ valor arquitectónico (*e.g.* elementos de interesse da fachada)
- ✓ morfologia do lote;
- ✓ localização privilegiada;
- ✓ eventual integração de recursos/materiais locais no sentido de promover a sustentabilidade social e económica da região (tendo por base a tipologia de actividades industriais existentes na mesma);
- ✓ nível de requalificação (tendo sempre em conta o sistema construtivo vigente);
- ✓ incorporação de novas tecnologias.

Do estudo destes edifícios-alvo, pretende-se especificar um vasto leque de novos modelos construtivos (através de especificações tipo) no sentido de auxiliar a CMA no seu percurso para um Centro Urbano do Futuro, que permita também o estímulo da sua população no sentido de uma reestruturação progressiva e sustentável do seu centro urbano.

Com isto, a selecção recaiu sobre os edifícios identificados como Q09_12, Q09_20 e Q04_13 (mantendo a nomenclatura dos mapas cedidos pela CMA) conforme se esquematiza na Figura 43.

Na sequência das visitas efectuadas aos edifícios seleccionados verificaram-se níveis de degradação estrutural e não-estrutural diferenciados, de acordo com o tipo de sistemas construtivos existentes e com o estado de abandono dos edifícios.

Figura 43 – Localização dos edifícios-alvo na baixa de Águeda e respectiva fachada.

Inserido no desenvolvimento deste projecto, pesquisaram-se soluções sustentáveis quer ao nível dos materiais, quer ao nível dos sistemas a aplicar em edifícios, para servirem de guia de utilização para projectistas, Município e Munícipes, conforme desenvolvido nos capítulos anteriores. Com o objectivo de continuar a pesquisa de soluções construtivas sustentáveis procedeu-se à análise de oito tipos de paredes exteriores de fachada, nas quais se combinaram diferentes tipos de materiais, tendo-se procedido à avaliação através da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas cujo procedimento e resultados se apresentam no ponto seguinte.

Com esta avaliação pretende-se demonstrar entre as várias soluções apresentadas quais as que são mais vantajosas sob o ponto de vista da sustentabilidade, funcionalidade e economia, constituindo assim uma base de suporte à decisão quando se pretende escolher soluções construtivas quer em projectos de reabilitação quer de construção nova.

5.3. Aplicação da MARS-SC

Através da aplicação da MARS-SC pretende-se avaliar soluções de paredes exteriores e encontrar, comparativamente, a solução que resulte do melhor compromisso entre dois parâmetros ambientais, três funcionais e um económico (Tabela 23).

Tabela 23 – Peso dos parâmetros e indicadores na avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas [3].

Indicador	Parâmetro	Peso (%)	Peso
Ambiente	energia primária incorporada (PEC)	70,0	***0,3***
	potencial de aquecimento global (PAG)	30,0	
Funcionalidade	isolamento a sons aéreos ($D_{n,w}$)	33,3	***0,4***
	espessura da parede (e)	33,3	
	isolamento térmico (U)	33,3	
Economia	custo de construção (€/m2)	100,0	***0,3***

Ao nível do **desempenho ambiental** pretende-se que a solução incorpore a menor quantidade de energia (PEC) possível e contribuir o menos possível com libertação de carbono para o exterior que resulta no aquecimento global (PAG) [3]. Neste sentido, os valores adoptados na quantificação destes parâmetros concentram-se numa base de dados desenvolvida pelo departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Bath, na Inglaterra, que traduz a energia e carbono incorporados em materiais de construção (*vd.* 2.3.1) [17].

Na quantificação do **desempenho funcional** das soluções foram analisados e contemplados a espessura da parede, o coeficiente global de transmissão térmica (U) com base no RCCTE [41] e no ITE 50 [79](Equação 1) e o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea (D_{nT}), suportado pelos requisitos descritos no RRAE [78].

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \sum_j R_j + R_{ar} + \frac{1}{he}} \quad (1)$$

Com o objectivo de evitar os efeitos de escala na agregação dos parâmetros, recorreu-se à normalização dos dados (Equação 2), limitando os mesmos entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor) tornando-os adimensionais e permitindo uma leitura facilitada da apresentação dos gráficos tipo radar:

$$\overline{P_i} = \frac{P_i - P_i^-}{P_i^+ - P_i^-} \ \forall \ i \quad (2)$$

Desta equação resulta a normalização do parâmetro $\overline{P_i}$ pela relação entre o valor do parâmetro P_i da solução e dos melhor e pior resultados do parâmetro de sustentabilidade, $P_i^+ e\ P_i^-$, respectivamente.

A **componente económica** foi determinada por um único parâmetro definido pela composição de preços por metro quadrado dos componentes constituintes das soluções. Os custos apresentados reflectem a realidade do mercado actual da construção no distrito de Aveiro.

5.3.1. APRESENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE PAREDE EXTERIOR

Como exigências explícitas de qualidade térmica, o novo RCCTE mantém a imposição de valores máximos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica superficiais (U) de elementos opacos da envolvente, ao mesmo tempo que especifica valores de referência dos mesmos coeficientes de acordo com a zona climática em que o edifício se insere. Os valores indicados na Tabela 24 são, relativamente aos valores máximos admissíveis, idênticos aos homólogos constantes do anterior regulamento[30], já que houve uma redução para metade na especificação dos valores de referência; são valores considerados com o objectivo de minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

Tabela 24 – Valores máximos e de referência dos coeficientes de transmissão térmica superficiais de elementos opacos verticais [41].

Coeficientes de Transmissão Térmica (W/m²ºC)	**Zona Climática**		
	I1	**I2**	**I3**
máximos admissíveis	1,80	1,60	1,45
valores de referência	0,70	0,60	0,50

Importa salientar que, no âmbito do estudo realizado, foi somente considerada a envolvente opaca vertical em zona corrente, tendo sido ignorada a influência das perdas pela existência de pontes térmicas.

Tendo em conta a importância do comportamento térmico, relativamente às restantes exigências funcionais dos elementos da envolvente vertical, as soluções construtivas analisadas foram definidas de modo que os seus coeficientes de transmissão térmica fossem, no mínimo semelhantes. Como a definição das propriedades físicas e da espessura dos diversos materiais que compõem as soluções construtivas é condicionada pela sua disponibilidade no mercado, as soluções apresentadas podem não apresentar exactamente o mesmo coeficiente global de transmissão térmica. No entanto, dentro de cada tipo de tecnologia, escolheu-se a solução cujo comportamento mais se assemelha ao da solução de referência.

[30] *Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro.*

5.3.1.1. Soluções de Parede Dupla

A solução de parede dupla tida como referência da construção da envolvente exterior dos edifícios (Figura 44) assenta num pano exterior em alvenaria de tijolo de furação horizontal com 15cm de espessura e num pano interior com o mesmo material mas com espessura inferior (11cm). Entre os panos estão instaladas placas de isolamento térmico em XPS com espessuras de 3cm que preenchem parcialmente uma caixa-de-ar de 7cm. Os paramentos, exterior e interior, revestem-se com 1,5cm de reboco de argamassa de cal (*vd.* 4.2.3.3). Os cálculos que serviram de base ao presente estudo de caso, relativamente à solução Aref estão descritos na Tabela B.1 do ANEXO B.

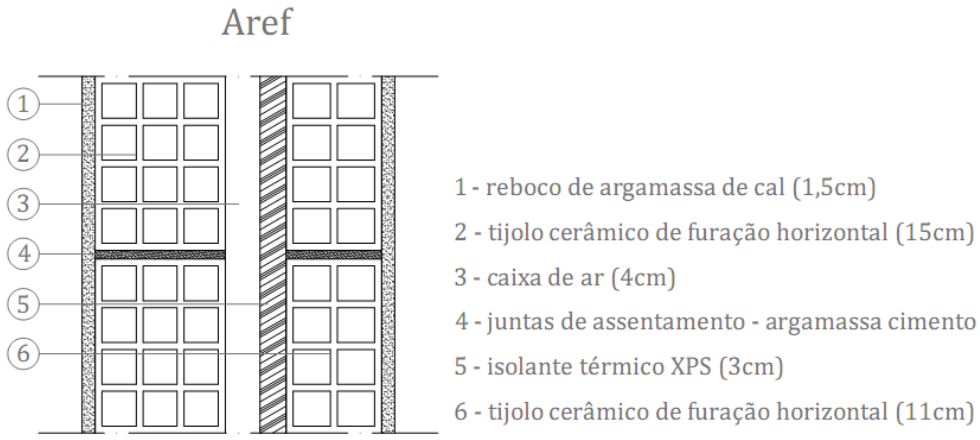


Figura 44 – Solução de parede dupla convencional e de referência [Aref].

Adoptando a morfologia da solução anterior, idealizou-se como segunda opção no presente caso de estudo, uma solução (Figura 45) com maiores preocupações ambientais, por abolição do tradicional isolante XPS e incorporação de um aglomerado de cortiça (*vd.* 4.2.4.1). Os cálculos auxiliares correspondentes apresentam-se na Tabela B.2 do ANEXO B.

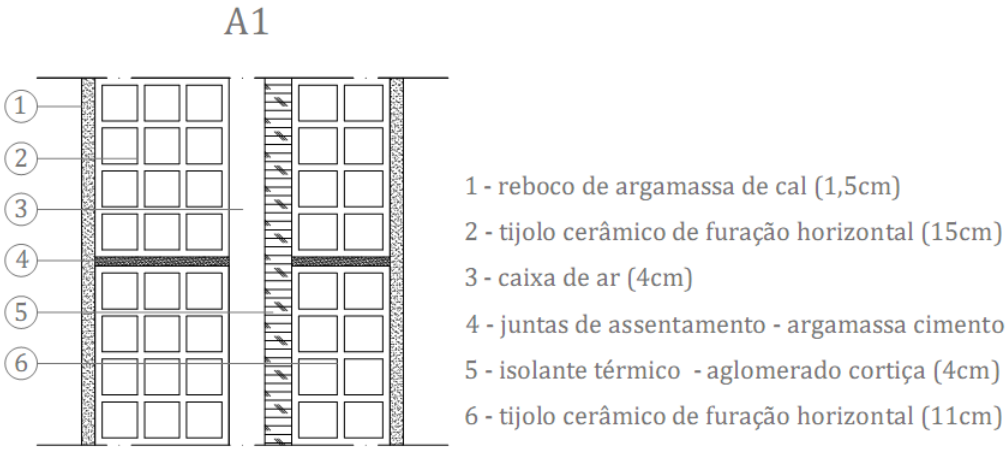


Figura 45 – Solução de parede dupla adoptada considerando aspectos de sustentabilidade ambiental [A1].

Na solução A2 (Figura 46), apesar de se manter a estrutura do pano interior da solução (tijolo de furação horizontal de 7cm de espessura com revestimento de 1,5cm em argamassa de cal sobre o paramento interior) adoptou-se um pano exterior em tijolo maciço com 7cm de espessura que cerra uma caixa-de-ar de 8cm parcialmente preenchida por painéis de cânhamo (*vd.* 4.2.4.3). As características funcionais da referida solução, traduzidas em valores, encontram-se descritas na Tabela B.3 do ANEXO B.

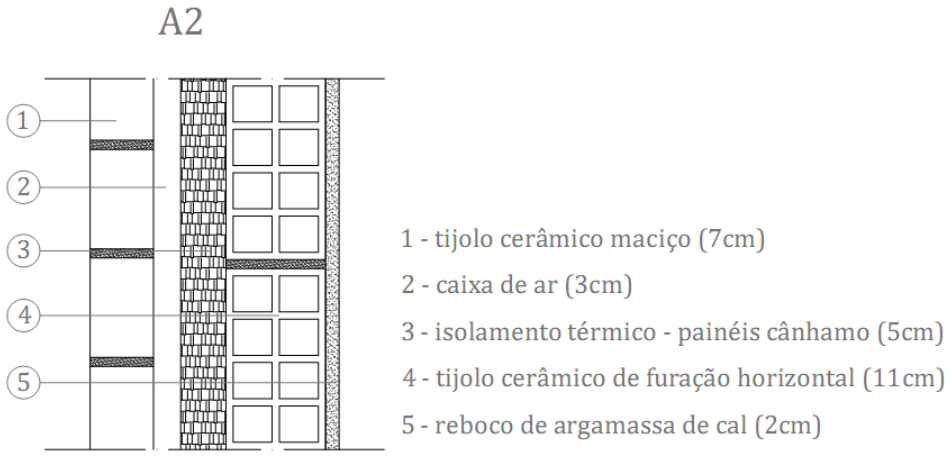


Figura 46 – Solução de parede dupla adoptada considerando aspectos de sustentabilidade ambiental [A2].

Como uma quarta solução (Figura 47), adoptou-se uma parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço com uma espessura de 7cm (à semelhança da solução anterior, este pano conjuga também a funcionalidade de revestimento) e pano interior em blocos de betão celular autoclavado espessados em 20cm (*vd.* 4.3.2.4) e revestidos no paramento interior por placas de gesso laminado. A caixa-de-ar com 4cm de espessura é totalmente preenchida por isolante térmico-acústico de argila expandida (*vd.* 4.2.4.2). Encontra-se na Tabela B.4 do ANEXO B a relação dos parâmetros equacionados na MARS-SC relativamente à solução A3.

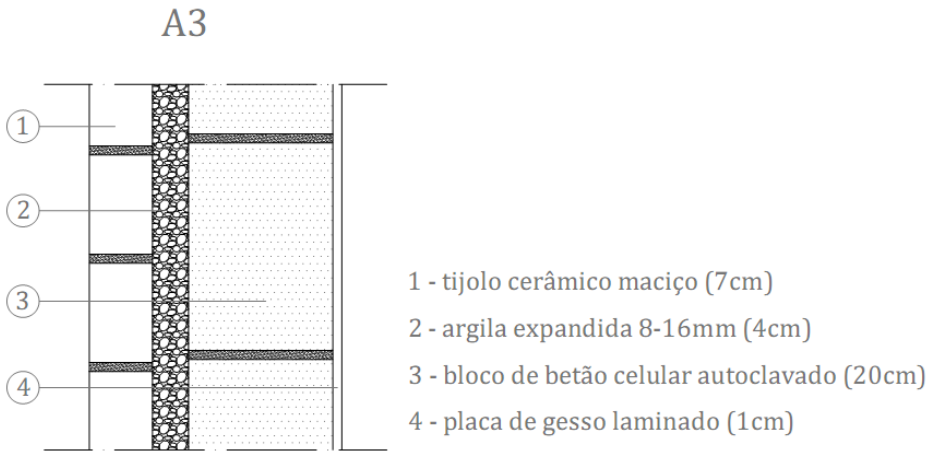


Figura 47 – Solução de parede dupla adoptada considerando aspectos de sustentabilidade ambiental [A3].

5.3.1.2. Soluções de Parede Simples com Isolamento pelo Exterior (ETICS)

A solução tida como referência da construção de paredes simples com isolamento pelo exterior (Figura 48) assenta no betão armado como estrutura de suporte com 20cm de espessura utilizando argamassa para a fixação e regularização dos painéis de EPS (6cm de espessura) que por sua vez são revestidos por uma camada de protecção em argamassa, intercalada com uma malha de fibra de vidro para seu reforço. Os valores dos parâmetros em estudo relativamente a esta solução podem ser consultados na Tabela B.5 do ANEXO B.

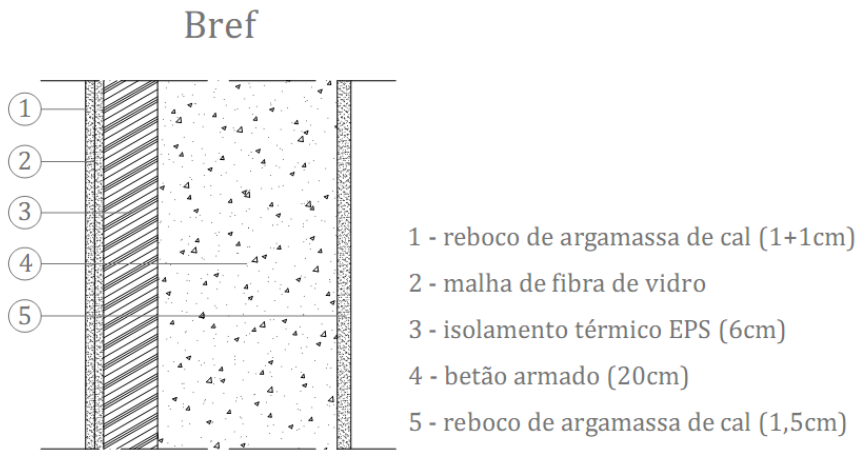


Figura 48 – Solução de *ETICS* convencional e de referência [Bref]

As características térmicas inerentes ao tijolo de furação vertical (*vd.* 4.3.2.2), elemento de suporte da solução B1 (Figura 49), permitem a utilização de menores espessuras de isolante térmico no cumprimento dos valores do coeficiente de transmissão térmica para a zona equacionada, pelo que nesta situação se provam suficientes (Tabela B.6 do ANEXO B) 2cm de espessura em painéis de vidro celular (*vd.* 4.2.4.4), complementados com uma camada de protecção semelhante à adoptada na solução Bref.

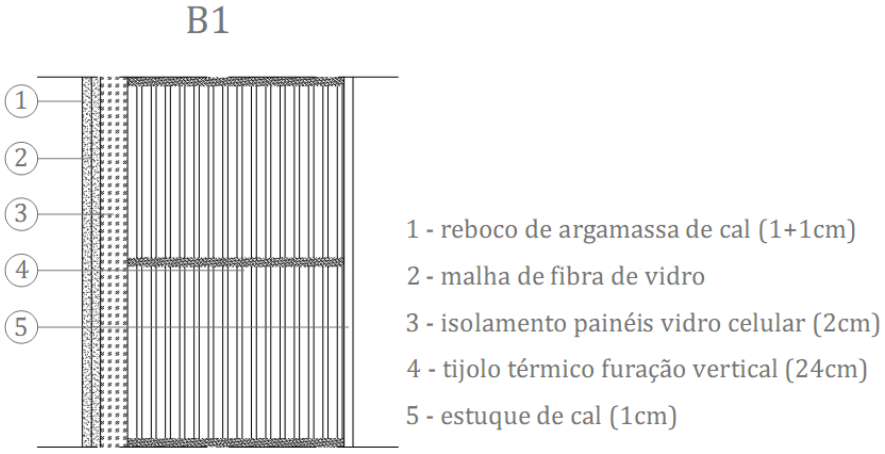


Figura 49 – Solução de ETICS adoptada considerando aspectos de sustentabilidade ambiental [B1].

Na perspectiva de adoptar a estrutura de adobe que caracteriza a envolvente opaca vertical dos edifícios em estudo, a solução B2 esquematizada na Figura 50 conjuga os blocos de adobe (*vd.* 4.3.2.1) com 20cm de espessura com revestimento de argamassa de cal no paramento interior e painéis de lã mineral (6cm) fixados mecanicamente no paramento exterior da parede simples. Como revestimento desta solução de fachada ventilada foram adoptados elementos de pedra natural com 4cm de espessura que se fixam pontualmente à parede de suporte com ancoragens de aço inoxidável e calços especiais. A síntese da quantificação dos parâmetros pode ser consultada na Tabela B.7 do ANEXO B.

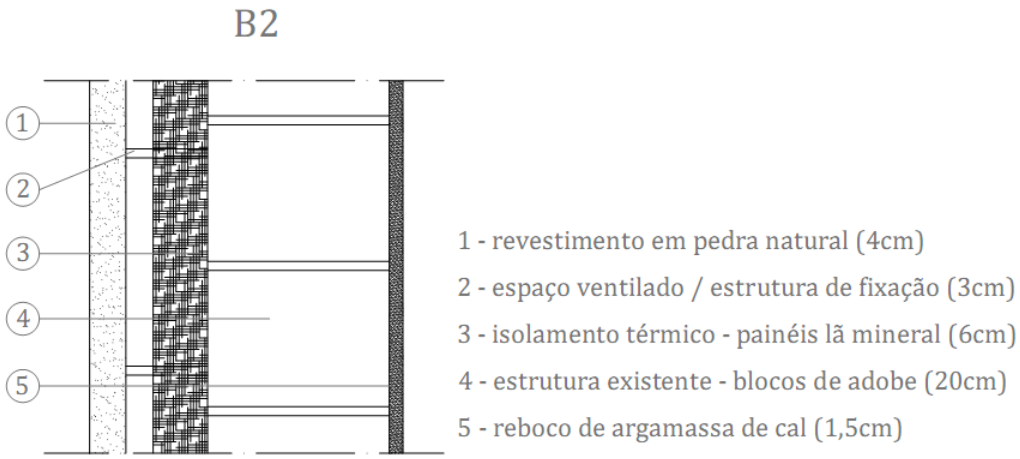


Figura 50 – Solução de *ETICS* adoptada considerando aspectos de sustentabilidade ambiental [B2].

Uma segunda solução de fachada ventilada (Figura 51) é caracterizada por um pano simples de alvenaria em tijolo térmico de furação vertical de 24cm de espessura revestido no paramento interior com estuque de gesso. Por ser resistente às intempéries e por isso adequada a soluções de fachada ventilada, foram suficientes 2cm de isolamento em placas de aglomerado de cortiça (*vd.4.2.4.1*). A estrutura é protegida por um revestimento cerâmico extrudido de grande formato suportado por um sistema de perfis de alumínio, grampos e parafusos de aço inoxidável. Os cálculos auxiliares correspondentes apresentam-se na Tabela B.8 do ANEXO B.

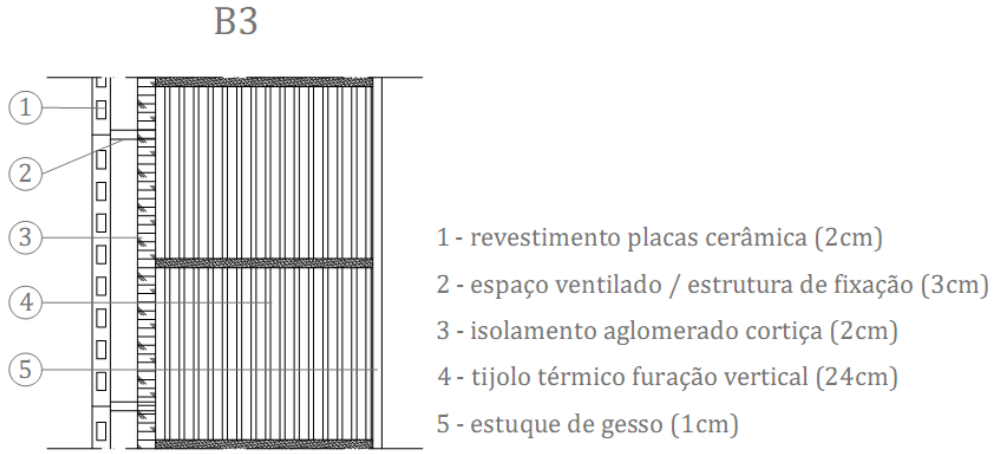


Figura 51 – Solução de *ETICS* adoptada considerando aspectos de sustentabilidade ambiental [B3].

5.3.2. RESULTADOS

Tabela 25 – Resultados parciais do cálculo de cada parâmetro por solução de parede.

Solução Construtiva	Massa (kg/m²)	PEC (MJ/m²)	PAG (kgCO2/m²)	D_{nT} (dB)	EP (m)	U (W/m².ºC)	CC (€/m²)
Parede Aref	332,00	884,80	67,15	48	0,36	0,54	80,31
Parede A1	335,00	795,28	64,95	48	0,36	0,56	78,68
Parede A2	310,40	796,45	62,68	47	0,28	0,51	77,40
Parede A3	309,80	1058,49	92,56	49	0,32	0,52	74,67
Parede Bref	577,08	1305,93	135,86	55	0,30	0,55	155,41
Parede B1	269,80	781,46	53,59	49	0,30	0,50	122,80
Parede B2	496,00	348,60	37,49	52	0,35	0,55	161,50
Parede B3	274,00	878,98	62,98	50	0,32	0,51	164,99

Da normalização dos parâmetros (Tabela A.1 do ANEXO A), dispostos na Tabela 25 e através da equação, obtêm-se os diferentes gráficos aquando duma comparação entre as paredes de referência e as soluções de parede adoptadas (Figura 52, Figura 53 e Figura A.3 disponível no ANEXO A)

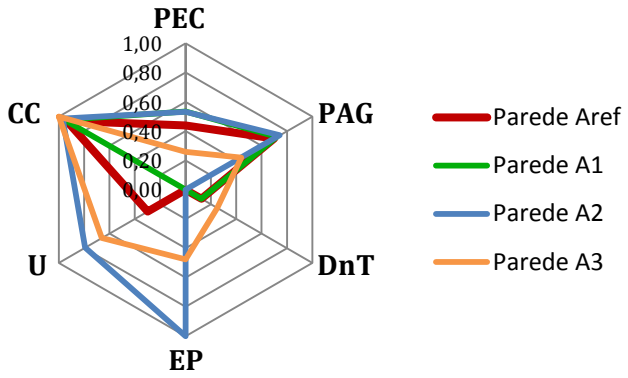


Figura 52 – Comparação gráfica (tipo radar) das soluções adoptadas referentes a parede dupla.

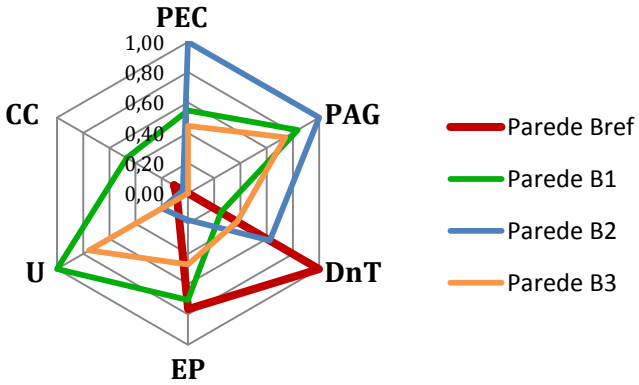


Figura 53 – Comparação gráfica (tipo radar) das soluções adoptadas referentes a paredes com isolamento pelo exterior

Tabela 26 – Discriminação dos valores obtidos para cada indicador e da respectiva nota sustentável.

Solução Construtiva	INDICADOR AMBIENTAL	INDICADOR FUNCIONAL	INDICADOR ECONÓMICO	**NOTA SUSTENTÁVEL**
Parede Aref	0,52	0,14	0,94	0,49
Parede A1	0,59	0,04	0,96	0,48
Parede A2	0,60	0,60	0,97	0,71
Parede A3	0,31	0,46	1,00	0,58
Parede Bref	0,00	0,62	0,11	0,28
Parede B1	0,63	0,65	0,47	0,59
Parede B2	1,00	0,33	0,04	0,44
Parede B3	0,53	0,53	0,00	0,37

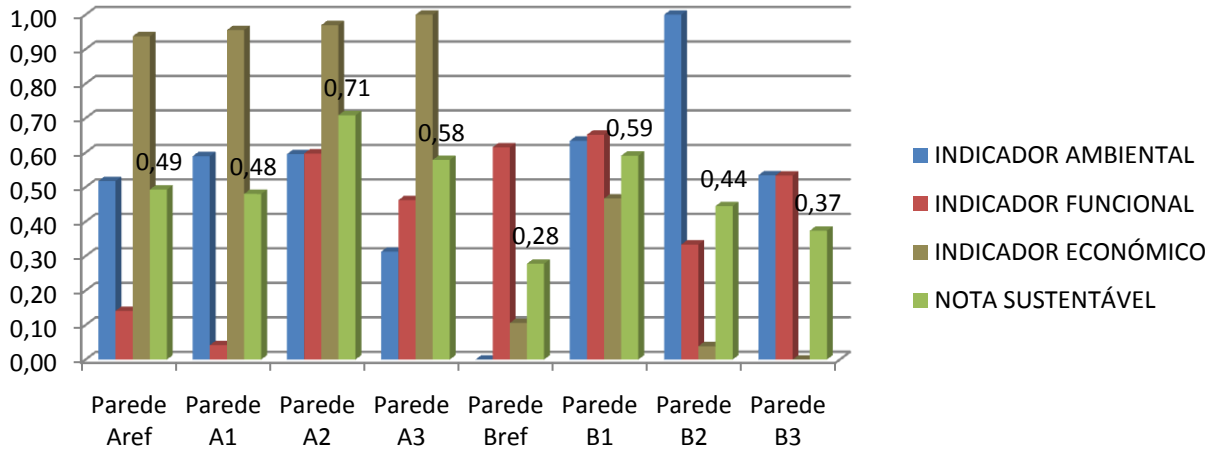


Figura 54 – Representação gráfica dos valores discriminados na Tabela 26.

5.4. Síntese

A definição das soluções apresentadas ficou limitada às fichas técnicas disponibilizadas pelas empresas ou pelo contacto estabelecido com as mesmas relativamente a produtos específicos, conforme descrito nas secções 4.2.4 e 4.3.2. Se aspectos como o PEC e o PAG dos materiais foram baseados no Inventário de Energia e Carbono da Universidade de Bath [17], as características físicas e funcionais como a massa volúmica e a condutibilidade térmica tiveram como fonte, além das referidas fichas técnicas, valores tabelados no ITE 50 [79] e respectivos anexos.

Com o objectivo de privilegiar os recursos da região (que, numa perspectiva da sustentabilidade económica, estimula a empregabilidade, diminuindo as importações e transportes) efectuou-se uma forte aposta em produtos cerâmicos, seja para paredes de alvenaria ou elementos de revestimento. Contudo, outros elementos de suporte como a alvenaria de pedra, numa perspectiva mais vanguardista, ou demais blocos de betão que incorporem como agregados materiais de outras indústrias (*e.g.* blocos de argila expandida) ou RCD possam ser equacionados, sabendo de antemão que as torna soluções de menor energia incorporada, apesar de tornar mais difícil a sua quantificação.

Ainda no âmbito dos materiais cerâmicos incorporados nas soluções descritas, e tendo como referência a base de dados da Universidade de Bath, sejam os tijolos convencionais de furação horizontal (utilizados nas soluções Aref, A1 e A2), os tijolos maciços (soluções A2 e A3) os tijolos térmicos de furação vertical (considerados em B1 e B3) ou o revestimento exterior patente na solução B3, foram igualmente considerados como "*simple baked products*" que corresponde a um PEC e PAG diferenciado do que se verifica na realidade pela composição e morfologia específicas que influi directamente nos processos de fabrico e respectivamente nos valores dos parâmetros referidos.

A espessura do material isolante, quer em painéis ou rolos, que confere o isolamento térmico à solução, além de "limitado" aos diversos modelos dos fabricantes toma uma variação que respeita a satisfação dos requisitos térmicos exigidos no RCCTE.

Relativamente ao parâmetro "custo de construção" (dado por m^2 de solução), é de salientar o facto de terem sido considerados apenas os custos directos imputáveis a cada uma das soluções construtivas, resultado do somatório dos cálculos por elemento constituinte da respectiva solução (ver tabelas do ANEXO A). Para o referido cálculo utilizou-se o *software* CYPE[31] e recorreu-se pontualmente à publicação Informações Sobre Custos[32], do Laboratório Nacional de Engenharia Civil –LNEC). Desta forma foram ignorados os custos indirectos (custos não imputáveis directamente à actividade mas associados à estrutura das empresas), os custos do estaleiro e o lucro das empresas, por se tratar de valores com uma componente subjectiva e variável de empresa para empresa.

---

[31] versão não-profissional After Hours com a funcionalidade Gerador de Preços – uma base de dados paramétrica e interactiva que contempla a grande maioria das opções tipológicas, geográficas e económicas que influenciam o custo final da obra, ao mesmo tempo que integra produtos de fabricantes com todas as suas características.
[32] série publicada desde 1968 pelo LNEC constituída por fichas de rendimentos de operações de construção, actualizadas com preços dos recursos, sempre que se considere haver aumentos significativos

Tendo em conta que a maioria das soluções apresentadas criam descontinuidade de materiais na envolvente opaca vertical, sobretudo as soluções de parede dupla já que a sua estrutura não comporta elementos de suporte (estando assim associadas a estruturas porticadas em betão armado), é necessário ter em atenção o tratamento das pontes térmicas. O novo RCCTE introduz exigências e metodologias de quantificação com eventuais implicações nas actuais práticas construtivas de paredes, quer exteriores, quer da envolvente interior.

Da **análise quantitativa e gráfica da metodologia aplicada** relativa às soluções apresentadas, destaca-se a solução A2 cuja elevada "nota sustentável" traduz o melhor desempenho ambiental, funcional e económico, face à maioria das restantes soluções apresentadas. A solução B1 apresenta um maior equilíbrio entre os três indicadores em estudo e também por isso é a segunda melhor solução com uma nota sustentável de 0,59. A tecnologia desta solução permite não só a correcção generalizada das pontes térmicas pelo isolamento exterior contínuo, mas também a disponibilização da totalidade da massa da parede para a inércia térmica interior que influi numa contribuição dos ganhos energéticos, impossíveis de traduzir na quantificação dos indicadores ambiental, funcional e económico.

A homogeneidade verificada nos parâmetros funcionais do índice de isolamento aos sons aéreos (D_{nT}) e o coeficiente de transmissão térmica (U) da generalidade das soluções apresentadas visam, unicamente, satisfazer os requisitos patentes no RRAE e RCCTE, respectivamente, mas que têm influência directa na espessura da parede e na massa da mesma, que podem ser aspectos importantes na concepção ou reabilitação de um edifício. Com isto, as soluções A2, A3, B1 e B3 destacam-se por apresentarem secções mais delgadas da envolvente exterior e uma menor sobrecarga na estrutura pelo seu menor peso, garantindo a funcionalidade em termos térmicos e de ruído exigidas. Pela maior leveza das soluções poderão estar associadas maiores poupanças ao nível das fundações.

Na comparação dos custos de construção das duas tipologias construtivas de paredes da envolvente exterior, destaca-se, como havia sido afirmado (*vd.* 4.4.1.2), um maior encargo financeiro associado às paredes com isolamento térmico pelo exterior (paredes B) numa proporção quase duplicada face às soluções de parede dupla (paredes A), conforme descrito na Tabela 25 e detalhado no ANEXO A. A qualidade superior exigida aos acabamentos e a necessidade de mão-de-obra especializada na sua concepção, sobretudo em fachadas ventiladas, estão na origem desta inflação financeira. Contudo, têm sido adoptadas, em edifícios de mais baixo custo ou em intervenções de reabilitação, soluções menos "nobres" que os revestimentos usuais em pedra natural ou em cerâmica, tais como chapas de fibrocimentos, aço galvanizado, materiais plásticos compósitos, *etc.*; também o revestimento descontínuo e a própria tecnologia das fachadas ventiladas protege os elementos isolantes e a estrutura de suporte do contacto directo com as intempéries, favorecendo a durabilidade dos materiais, e permite menores custo de manutenção e ainda a reutilização quer do revestimento exterior quer da estrutura de fixação no final da sua vida útil (sempre dependente do estado de conservação).

O reaproveitamento dos materiais com horizonte no final do tempo de vida útil enquanto elementos das soluções de fachada de edifícios é um aspecto importante e que foi tido em consideração sempre que possível na idealização das soluções, como sendo a fixação mecânica dos elementos de

isolamento ou de revestimento ao invés da colagem. De referir no entanto que, ao nível da mão-de-obra são insignificantes as diferenças económicas relativamente às duas diferentes técnicas de fixação. Também intrínseco a este aspecto estão características ao nível da sustentabilidade ambiental das diferentes soluções mas que são dificilmente quantificáveis e associadas ao respectivo indicador. Da mesma forma, importa referir que as soluções que integram o tijolo vazado, sobretudo as paredes de panos duplos de alvenaria de tijolo, são responsáveis pela grande produção de RCD aos quais se associa desperdício de recursos e respectivamente menor sucesso na optimização da sustentabilidade ambiental/económica.

Importa salientar que o peso que cada um dos indicadores induzem nas notas sustentáveis das diferentes soluções estudadas, poderá ser facilmente invertível face a diferentes percentagens atribuídas quer aos indicadores, quer aos parâmetros neles englobados, consoante o tipo de análise requerida, tipo de projecto, *etc.* Para este estudo, e no sentido de homogeneizar a importância dos indicadores, a percentagem atribuída pareceu a mais sensata.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

6.1. Dificuldades Sentidas

No que à elaboração do caso de estudo diz respeito, e especificamente da aplicação da MARS-SC, a grande adversidade surgiu com o cálculo do isolamento a sons aéreos das soluções apresentadas. A complexidade de *software* adequado e a complexidade das próprias soluções, aliados à limitação temporal na realização do estudo, foram factores que levaram à adopção dos valores do índice de isolamento a sons aéreos das soluções construtivas apresentadas em [3], para soluções com tipologia similar e, sobretudo, soluções cuja massa se aproximasse da solução em estudo.

Do contacto com empresas (via telefone e/ou via *e-mail*) com a finalidade de obter características fulcrais dos materiais a aplicar, como sejam a densidade, o custo ou mesmo a energia incorporada nos mesmos (sabendo de antemão a complexidade e investimento necessário na determinação deste parâmetro), poucas foram as respostas obtidas com objectividade. Com isso, as soluções construtivas apresentadas ficaram limitadas a materiais cuja totalidade dos parâmetros de cálculo eram conhecidas, com maior ou menor rigor.

6.2. Conclusões Finais

Foram atingidos os objectivos propostos com a elaboração desta dissertação, já que a mesma abrange várias etapas e especificações construtivas, realçando a importância de uma fase de planeamento, preliminar à construção/reabilitação. Desta forma, o estudo e especificação de materiais que conduzem à definição de soluções construtivas, constituem, ao nível das diferentes vertentes da sustentabilidade da construção, um suporte de decisão para os diversos intervenientes na regeneração do ambiente construído; têm neste tipo de estudos uma base científica sustentada em metodologias que traduzem a *performance* ambiental, funcional e económica, pontos fulcrais de qualquer decisão.

Durante o ano em que esta dissertação foi desenvolvida foram surgindo novos materiais e soluções inovadoras, as quais se enquadram na constante revisão dos diplomas legais, nacionais e/ou internacionais, de que resultam novas exigências funcionais e de conforto. Assim se conclui que, a vertente da sustentabilidade das construções está cada vez mais implementado na sociedade e que, pela imensidade de empresas, associações, *clusters* e instituições governamentais e não-governamentais se crê num rápido e contínuo crescimento da consciencialização global para a problemática da insustentabilidade ambiental e económica.

Relativamente ao que se verifica no resto da Europa e do Mundo, constata-se que em Portugal, é quase inexistente o processo de certificação ambiental de materiais e soluções construtivas. Verifica-se que, os produtos nacionais com maior potencial de exportação possuem um desempenho ambiental certificado; crê-se que por questões óbvias de competitividade interna e de marketing mas

também por salvaguarda da aceitação dos países importadores. Este poderá ser um impulso na construção de bases de dados nacionais e internacionais que forneçam aos projectistas e consumidores em geral, uma consistência e validade científica fornecedoras de informação rigorosa e fiável para a avaliação ambiental dos edifícios.

Apesar de ter sido dada maior ênfase a soluções construtivas de paredes exteriores, identificando os principais recursos e produtos, directa e indirectamente associados, é sabido que estas representam uma pequena fracção do edificado, pelo que o sector da construção não deverá nunca descuidar a compatibilização da concepção do edifício com as condições climatéricas – arquitectura bioclimática – e a integração das energias renováveis na diminuição dos impactos ambientais. Todos esses factores, incluindo os planos de gestão de RCD, deverão ser considerados pelos diversos intervenientes durante a Fase de Projecto.

Crê-se importante a definição e inclusão de critérios ambientais e sociais em todas as fases do ciclo de vida de um edifício com o objectivo de minimizar os impactos negativos da construção, prevenindo a sua transposição para fases do ciclo de vida posteriores, pelo que no planeamento e projecto e na aquisição de bens e serviços essa consciencialização se revele prioritária. A optimização do conceito "construção sustentável" realça os aspectos energéticos e os aspectos relativos aos elementos da construção, ganhando cada vez maior destaque as ACV e CCV de materiais e soluções construtivas que estão na base da sua rotulagem ambiental. As compras públicas sustentáveis no sector da construção revelam-se assim decisivamente contribuidoras na pragmatização dos compromissos nacionais e internacionais face à emissão de GEE e à eficiência energética dos edifícios.

6.3. Trabalhos e Perspectivas Futuras

A complexidade e especificidade das soluções estudadas exigem rigor no estudo prévio das suas características funcionais. Um desenvolvimento que complementaria o estudo efectuado nesta dissertação assentaria em ensaios laboratoriais de determinação, por exemplo, do índice de absorção acústica e dos coeficientes de transmissão térmica reais das soluções propostas (ou outras idealizadas no mesmo âmbito) e que complementariam o estudo teórico da acústica em que esta metodologia assenta e da determinação de U proposta pelo RCCTE (*vd.* 5.3).

Esta metodologia, pela sua versatilidade, permite uma análise a diversos elementos construtivos, como tal adequar-se-iam análises relativas de soluções de pavimentos e de coberturas, com a adopção dos materiais referidos ou outros que melhor se adeqúem à finalidade desses elementos construtivos, mas que mantenham a aposta na sustentabilidade ambiental, funcional e económica das soluções.

A rápida e constante evolução da pesquisa e desenvolvimento de novos materiais, sejam residuais da construção ou de outras indústrias ou da simples introdução recente neste sector (actualmente com mais e maiores preocupações de ordem ambiental), permitem a formulação das mais variadas soluções construtivas. Exemplo desta evolução são os recentes desenvolvimentos tecnológicos da "era nano" com potencialidades de liderança nas questões ambientais e de desenvolvimento

sustentável. A nanotecnologia tem ganho espaço em diversas sub-áreas do sector da construção e em diferentes categorias de materiais como sendo: cimentos e argamassas, revestimentos e tintas, materiais para isolamento térmico, e energias renováveis solares fotovoltaicas.

Com tudo isto, e focando a aposta da CMA na perspectiva de um centro urbano do futuro, a elaboração de cadernos de encargos tipo da reabilitação dos edifícios referidos tornaria mais palpáveis estudos como o apresentado nesta dissertação. Esses cadernos de encargo, fruto de estudos mais profundos e minuciosos, conjugariam os materiais e soluções "verdes" com a integração de tecnologias de energia renovável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] KIBERT C. *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. 2.º ed.Florida, E.U.A. : Wiley, 2005. ISBN : 0471661139.

[2] PINHEIRO M. *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora: Instituto do Ambiente, 2006. Online : < http://www.lidera.info/resources/ACS_Manuel_Pinheiro.pdf > (Acedido em 21 Novembro 2010) ISBN : 972-8577-32-X.

[3] MATEUS R., BRAGANÇA L. *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Edições Ecopy, 2006. 296 p. Online : < http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6887 > (Acedido em 21 Janeiro 2010)

[4] DU PLESSIS C. « Thinking about the day after tomorrow: new perspective on Sustainable Building ». In : *Rethinking Sustainable Construction Conference*. Florida, E.U.A. : CSIR Built Environment, 2006. Online :< http://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/10204/956/1/Du%20plessis_2006_D.pdf > (Acedido em 16 Agosto 2010)

[5] PIRES B. *Environmental criteria in public procurement of construction work in Portugal*. Dissertação de Mestrado. Braga : Universidade do Minho, 2008. Online : < http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9309 > (Acedido em 19 Fevereiro 2010)

[6] MIYATAKE Y. « Technology Development and Sustainable Construction ». *Journal of Management in Engineering*. 1996, p. 23-27.

[7] « History & Chronology of Sustainability ». Online : < http://scom.hud.ac.uk/scomjm4/mmport/susmod/Page2.htm > (Acedido em 21 Janeiro 2010)

[8] « History of Sustainability ». Online :< http://yosemite.epa.gov/r10/oi.nsf/8bb15fe43a5fb81788256b58005ff079/398761d6c3c7184988256fc40078499b!OpenDocument > (Acedido em 9 Fevereiro 2010)

[9] « United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) ». Online : < http://unfccc.int/2860.php > (Acedido em 9 Fevereiro 2010)

[10] « Agenda 21 - Portugal ». Online : < http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/portugal/inst.htm > (Acedido em 9 Fevereiro 2010)

[11] VICENTE R. S. *Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana*. Dissertação de Douturamento. Aveiro: Departamento de Eng. Civil, Universidade de Aveiro, 2008. Online : < http://biblioteca.sinbad.ua.pt/teses/2009000352 > (Acedido em 12 Outubro 2010)

[12] TOMÁS N. M. « Reabilitação marca passo ». *INGENIUM*. Outubro 2009, Vol. 113, p. 14-17.

[13] RODRIGUES M. F. S. *Estado de conservação de edifícios de habitação a custos controlados : índice de avaliação e metodologia para a sua obtenção*. Dissertação de Douturamento. Aveiro : Departamento de Eng. Civil, Universidade de Aveiro, 2008. Online : < http://biblioteca.sinbad.ua.pt/Teses/2009000829 > (Acedido em 12 Outubro 2010)

[14] LACASSE M. « Materials and technology for sustainable construction ». *Building Research & Information*. 1999, Vol. 27, p. 405-408.

[15] KERNAN P. *Old to New - Design Guide: Salvaged Building Materials in New Construction*. 3.º ed.Victoria : Architectural Institute of British Columbia, 2002. 115 p.

[16] « Gerflor - Compromisso para um Desenvolvimento Sustentável ». Online : < http://www.gerflor.pt/pt/construcao/m2/telecharger-documentation/d1767-meio-ambiente.html > (Acedido em 17 Novembro 2010)

[17] HAMMOND G., JONES C. *Inventory of Carbon and Energy*. Bath : Sustainable Energy Research Team (SERT) - University of Bath, UK, 2008. Online : < http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/ > (Acedido em 18 Agosto 2010)

[18] JALALI S., TORGAL F. « Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção ». *Engenharia e Vida*. Janeiro 2008, Vol. 42, p. 2-5.

[19] **Decreto-Lei nº 46/2008** - *Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição.* Diário da República - I SÉRIE. 51 (08-03-12). 1567-1574.

[20] MELIM J., SOUSA H. « Resíduos de Construção e Demolição em Obras de Reabilitação ». In : *Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS'10*. Curia : centroHabitat - plataforma para a construção sustentável, 2010.

[21] MARTINS A. *Influência de materiais de revestimento*. Dissertação de Mestrado. Porto : Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2003. Online : < http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/9583 > (Acedido em 30 Agosto 2010)

[22] KENNEDY J. *Building Without Borders: Sustainable Construction for the Global Village*. Canada: New Society Publishers, 2004. ISBN : 0865714819.

[23] *Construção Maia*. Online : < http://farm4.static.flickr.com/3075/3196338537_ec6ab32120.jpg > (Acedido em 9 Fevereiro 2010)

[24] LUCAS S. *Critérios Ambientais na Utilização de Materiais de Construção*. Dissertação de Mestrado. Aveiro : Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, 2008. Online : < http://biblioteca.sinbad.ua.pt/Teses/2008000999 >

[25] « LiderA - Sistema de Avaliação da Sustentabilidade ». Online : < http://www.lidera.info/resources/LiderA_V2_00b.pdf > (Acedido em 3 Fevereiro 2010)

[26] DAVIES M., JORDAN W., HODGE M., PEARSON I., FLINT C., WOOLAS P., VADERA S. *Strategy for Sustainable Construction*. Londres : HM Government & Strategic Forum for Construction, 2008. Online : < http://www.berr.gov.uk/files/file46535.pdf > (Acedido em 11 Fevereiro 2010)

[27] BOSWELL P., WALKER L. *Procurement and Process Design*. FIDIC & Lorna Walker Consulting Ltd 2004. Online : < http://www.sb05.com/academic/15_IssuePaper.pdf >

[28] **Decreto-Lei nº 18/2008** - *Código dos Contratos Público (CCP).* Diário da República, 1ª Série. 20 (08-01-29). 753-852.

[29] « BASE: contratos públicos online ». Online : < http://www.base.gov.pt/Paginas/Default.aspx > (Acedido em 20 Fevereiro 2010)

[30] TORCELLINI P., PLESS S., DERU M., CRAWLEY D. « Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition ». In : *Innovation for Our Energy Future*. California : NREL - National Renewable Energy Laboratory, 2006.

[31] FONSECA D. *Casa de emissões nulas: estudo conceptual*. Dissertação de Mestrado. Aveiro : Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2007.

[32] TIRONE L. « Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã ». Lisboa : Congresso LiderA '10 - Centro de Congressos, IST, 2010.
Online : http://www.lidera.info/resources/11CongressoLiderA2010_ConstrucaoSustentavel_LiviaTirone.pdf > (Acedido em 16 Novembro 2010)

[33] *Eficiência Energética nos Edifícios*. Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia.Lisboa : Ogilvy & Mather Portugal, 2002. ISBN : 972-8268-25-4.

[34] COMINI R., CLEMENT F., PUENTE F., ORLANDI A., OLIVEIRA I., LIMA P., BEIRÃO D. *Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais*. Lisboa : EnerBuilding, 2008.

[35] MENDES J. F., SALGUEIRO A., CARDOSO J., COELHO R. « A integração de energias renováveis em edifícios ». *Construção Magazine*. Agosto 2010, Vol. 38, p. 17-23.

[36] GONÇALVES H. « Eficiência Energética: edifícios e áreas urbanas ». In : *Energia 2020*. Lisboa : FCUL - Faculdade Ciências da Universidade de Lisboa, 2010.

[37] « Instituto das Tecnologias de Informação na Justiça: Bases Jurídico-Documentais », 2010.
Online :< http://www.dgsi.pt/gdep.nsf/7dd0d329b478bb198025690b0047cb6c/fdb95e2fcc372f58802576c40036e043?OpenDocument > (Acedido em 7 Junho 2010)

[38] **Directiva Europeia 2002/91/CE** - *Desempenho Energético de Edifícios.* Jornal Oficial das Comunidades Europeias. (02-12-16) 65-71.

[39] **Decreto-Lei nº 78/2006** - *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.* Diário da República - I SÉRIE-A. 61 (06-04-04). 2411-2415.

[40] **Decreto-Lei nº 79/2006** - *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).* Diário da República - I SÉRIE-A. 67 (06-04-04). 2416-2468.

[41] **Decreto-Lei nº 80/2006** - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).* Diário da República - I SÉRIE-A. 67 (06-04-04). 2468-2513.

[42] **Directiva Europeia 2006/32/CE** - *Eficiência na Utilização Final de Energia.* Jornal Oficial das Comunidades Europeias. (06-04-05) 64-85.

[43] « ADENE - Agência para a Energia ».
Online : < http://www.adene.pt/ADENE.Portal > (Acedido em 7 Junho 2010)

[44] D'AMICO F. « Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual ». *Boletín CF+S*. Novembro 2000.
Online : < http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html > (Acedido em 16 Agosto 2010)

[45] GONÇALVES H., GRAÇA J. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa : Direcção Geral de Geologia e Energia - IP-3E, 2004.
Online : http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/00000090/krpwqvoncsjpenbxgwlzydvgcsskwwqh/ConceitosBioclim%C3%A1ticos.pdf > (Acedido em 16 Agosto 2010). ISBN : 972-8268-34-3.

[46] « GreenSpec - Green building, design, products, specification and construction ». Online : < http://www.greenspec.co.uk/ > (Acedido em 16 Julho 2010)

[47] SIMÕES T., ESTANQUEIRO A. *Projecto T.Urban - micro-turbinas eólicas de alta eficiência e baixo custo para ambientes urbanos e construídos*. Ministério da Economia e Inovação : Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2008.
Online : < www.lneg.pt > (Acedido em 21 Outubro 2010)

[48] ALMEIDA A., PATRÃO C., FONSECA P., MOURA P. *Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética*. Novembro 2005.
Online : < http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=articlesDetailFo&rec=272 > (Acedido em 14 Outubro 2010)

[49] GARRIDO J. *Sistemas Energéticos para o Sector Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação*. Dissertação de Mestrado. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2008.

[50] *Potencial for Microgeneration: study and analisys*. U.K. : Energy Saving Trust, 2005.
Online : < http://www.berr.gov.uk/files/file27558.pdf > (Acedido em 15 Fevereiro 2010)

[51] *Guia para a certificação de uma unidade de microprodução*.: Renováveis na Hora, 2010.
Online : http://www.renovaveisnahora.pt/c/document_library/get_file?folderId=15654&name=DLFE-4403.pdf > (Acedido em 14 Outubro 2010)

[52] **Decreto-Lei nº 363/2007** - *Sistema Eléctrico Nacional (SEN).* Diário da República - I SÉRIE. 211 (07-11-02). 7978-7984.

[53] **Decreto-Lei nº 118-A/2010** - *Regime da Microgeração.* Diário da República - I SÉRIE. 207 (10-10-25). 1-16.

[54] « General Electrics (GE) Net Zero Energy Home ».
Online : < http://www.genewscenter.com/Resource-Library/GE-s-Net-Zero-Energy-Home-941.aspx > (Acedido em 19 Outubro 2010)

[55] SILVA-AFONSO A., RODRIGUES C. « A implementação da certificação de eficiência hídrica de produtos em Portugal: uma iniciativa para a sustentabilidade ». In : *CINCOS'08 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável*. Curia : centroHabitat - plataforma para a construção sustentável, 2008.

[56] MESANZA A. « Aprovechamiento del agua de lluvia ». *EcoHabitar*. 2008,
Online : < http://www.ecohabitar.org/ > (Acedido em 17 Julho 2010)

[57] « Quercus - Associação Nacional de Conservação da Natureza ». 2010.
Online :< http://construcaosustentavel.quercus.pt/scid/subquercus/defaultarticleViewOne.asp?categorySiteID=142&articleSiteID=218 > (Acedido em 13 Junho 2010)

[58] NIEVA A., DEL POZO A. *Guía de construcción sostenible*. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2005.

[59] TEIXEIRA G., BELÉM M. *Diálogos de Edificação - Estudo de Técnicas Tradicionais de Construção*. CRAT: Centro Regional de Artes Tradicionais.Porto, 1998.

[60] TRINDADE P. « Rotulagem Ambiental ». In : *Manual Prático para a Gestão Ambiental.* 2009. Online : < http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/581 > (Acedido em 17 Julho 2010)

[61] SILVESTRE J. D., DE BRITO J., PINHEIRO M. D. « Certificação Ambiental de Materiais e Soluções Construtivas - aplicação á realidade portuguesa ». In : *Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS'10*. Curia : centroHabitat - plataforma para a construção sustentável, 2010.

[62] « CEN - Comité Europeu para a Normalização ».
Online :< http://www.cen.eu/CEN/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/WP.aspx?param=481830&title=CEN%2FTC+350 > (Acedido em 4 Dezembro 2010)

[63] « EU Ecolabel ».
Online : < http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/ > (Acedido em 16 Julho 2010)

[64] « R-Symbolik Ressourcen ».
Online : < http://positivlisten.info/ > (Acedido em 4 Dezembro 2010)

[65] BORGES J., BORRALHO R., MOTA CAPITÃO C., MIRA L. « Gestão Florestal Sustentável e Certificação: uma perspectiva operacional ». Lisboa : Naturlink, Instituto Superior de Agronomia e INOVISA, 2008.
Online :< http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/default.aspx?Module=Files/FileDescription&ID=2716&lang=pt > (Acedido em 16 Julho 2010)

[66] « FSC Portugal ».
Online : < http://www.fscportugal.org/ > (Acedido em 16 Novembro 2010)

[67] « Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) ».
Online : < http://www.pefc-portugal.cffp.pt/ > (Acedido em 16 Novembro 2010)

[68] TORGAL F. P., JALALI S. « Contributos do betão para a sustentabilidade da indústria da construção ». *Betão*. 2008, Vol. 21, p. 37-42.

[69] VALERO P. « EcoHabitar - Materiales: Aislamientos ».
Online : < http://www.ecohabitar.org/ > (Acedido em 16 Agosto 2010)

[70] COUTINHO J. *Cal aérea e cal hidráulica*. Porto: FEUP 2002.
Online :< http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/CienciaDosMateriais/apontamentos/teorica_20022003/JSC_031a043.pdf > (Acedido em 3 Novembro 2010)

[71] « Ecological Building Systems: Natural Insulation ».
Online : < http://www.ecologicalbuildingsystems.com/products/natural-insulation/ >
(Acedido em 13 Outubro 2010)

[72] « Argex - Fichas Técnicas ».
Online : < http://www.argex.pt/fichas_tecnicas.php > (Acedido em 12 Outubro 2010)

[73] GIL L. *A Cortiça como Material de Construção - Manual Técnico*. Santa Maria de Lamas : APCOR - Associação Portuguesa de Cortiça, 2006.
Online : < http://www.apcor.pt/index_pt.php > (Acedido em 11 Agosto 2010)

[74] *Thermo-Hemp: isolar e sentir-se bem*. Hock GmbH & Co. KG 2009,
Online : < http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_thermo-hemp.pdf >
(Acedido em 21 Janeiro 2010)

[75] « theFreshScent » United Kingdom ».
Online : < http://thefreshscent.com/tag/united-kingdom/ > (Acedido em 16 Novembro 2010)

[76] « FOAMGLAS® ».
Online : < http://www.foamglas.es/espanol/construccion/index.htm >
(Acedido em 16 Novembro 2010)

[77] *Manual de Alvenaria de Tijolo*. 2.º ed.[s.l.] : CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, APICER - Associação Portuguesa da Indústria da Cerâmica, 2009. ISBN : 978-972-99478-5-8.

[78] **Decreto-Lei nº 96/2008** - *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.* Diário da República - I SÉRIE-A. 110 (08-06-09). 3359-3372.

[79] PINA DOS SANTOS C., MATIAS L. *ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. (Informações Científicas e Técnicas).

[80] « Ecocasa ».
Online : < http://www.ecocasa.pt/construcao.php > (Acedido em 16 Novembro 2010)

[81] PINA SANTOS C. « Evolução das Soluções de Paredes face a Novas Exigências Regulamentares ». In : *Seminário sobre Paredes de Alvenaria*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.
Online : < http://www.civil.uminho.pt/alvenaria/docs/041_064.pdf >
(Acedido em 30 Agosto 2010)

[82] PEIXOTO DE FREITAS V. *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*. Porto : maxit – Tecnologias de Construção e Renovação , Lda, 2002.
Online : < http://www.maxit.pt/media/12/tecdocs/revestimentos/HT_191A_02.pdf1.pdf >
(Acedido em 11 Agosto 2010)

[83] « Neoturf - Espaços verdes ».
Online : < http://www.neoturfonline.com/main.php?id=66 > (Acedido em 16 Julho 2010)

[84] CAUDREY G. *Green Roof Systems: acknowledging the potencial*. Dissertação de Bacharelato. Aberdeen, Scotland : Robert Gordon University - Faculty of Design, 2005.

[85] CARDOSO C. *Desenvolvimento da janela eco eficiente*. Dissertação de Mestrado. Braga : Departamento de Eng. Civil, Universidade do Minho, 2008.
Online : < http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/8860 >
(Acedido em 27 Outubro 2010)

[86] « Bizwin - Poupança e eficiência energética - Janelas, Estores e Telas ».
Online : < http://www.bizwin.pt/pag.asp?c=0&sc=0&p=59 > (Acedido em 3 Novembro 2010)

[87] VIEIRA J. C. *Sustentabilidade*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP 2004,

[88] « VELUX Portugal - Túnel de Luz ». Online :
< http://www.velux.pt/Particulares/Produtos/Tunel_Luz/default.aspx >
(Acedido em 4 Dezembro 2010)

[89] « Inhabitat: Green Design Will Save the World - Solar Tube Skylights ».
Online : < http://inhabitat.com/solar-tube/ > (Acedido em 4 Dezembro 2010)

[90] GUIN N. « El porqué de las pinturas naturales ». *EcoHabitar*. 2008,
Online : < http://www.ecohabitar.org/ > (Acedido em 17 Julho 2010)

ANEXO A – INFORMAÇÃO ADICIONAL

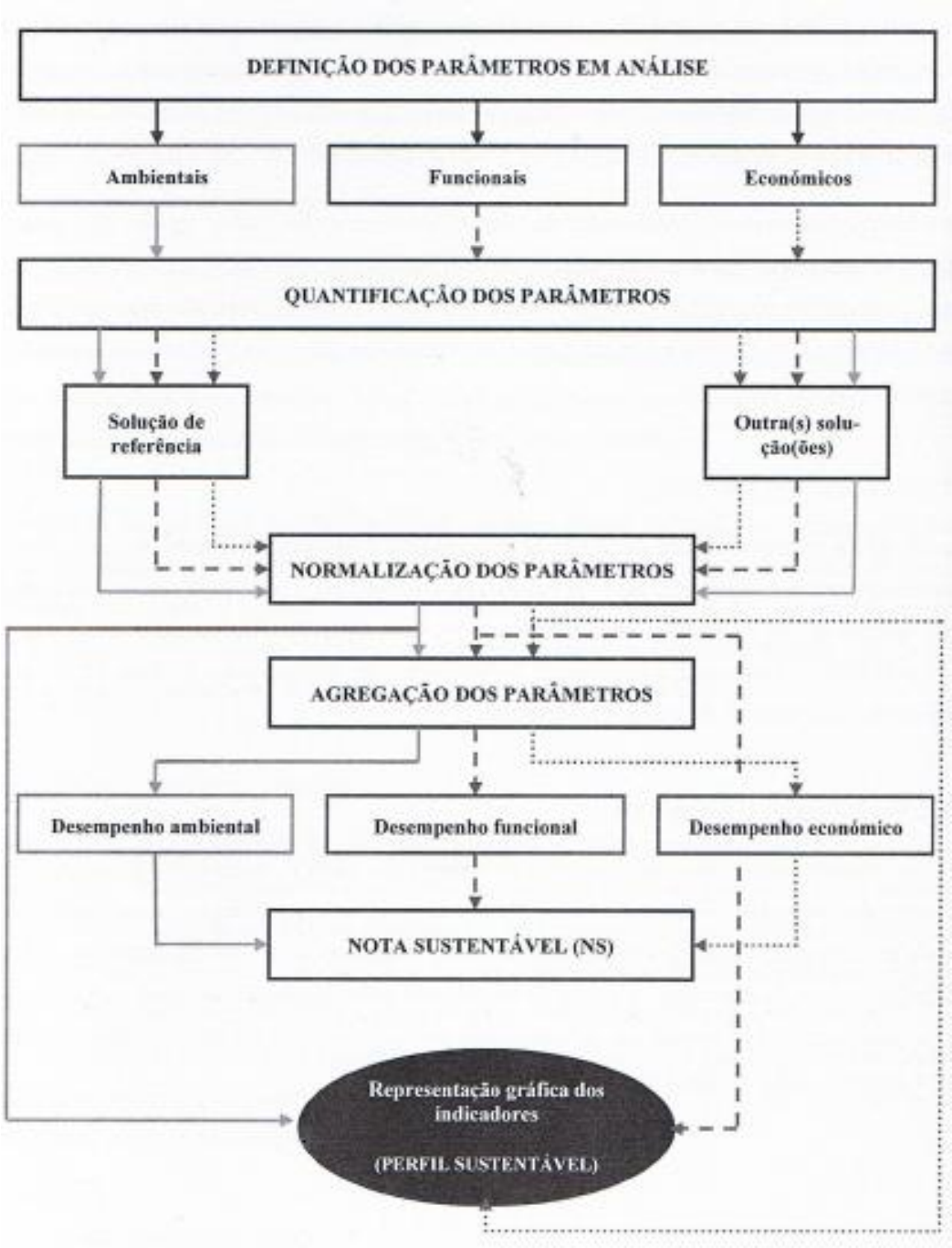


Figura A.1 – Representação esquemática da MARS-SC [3]

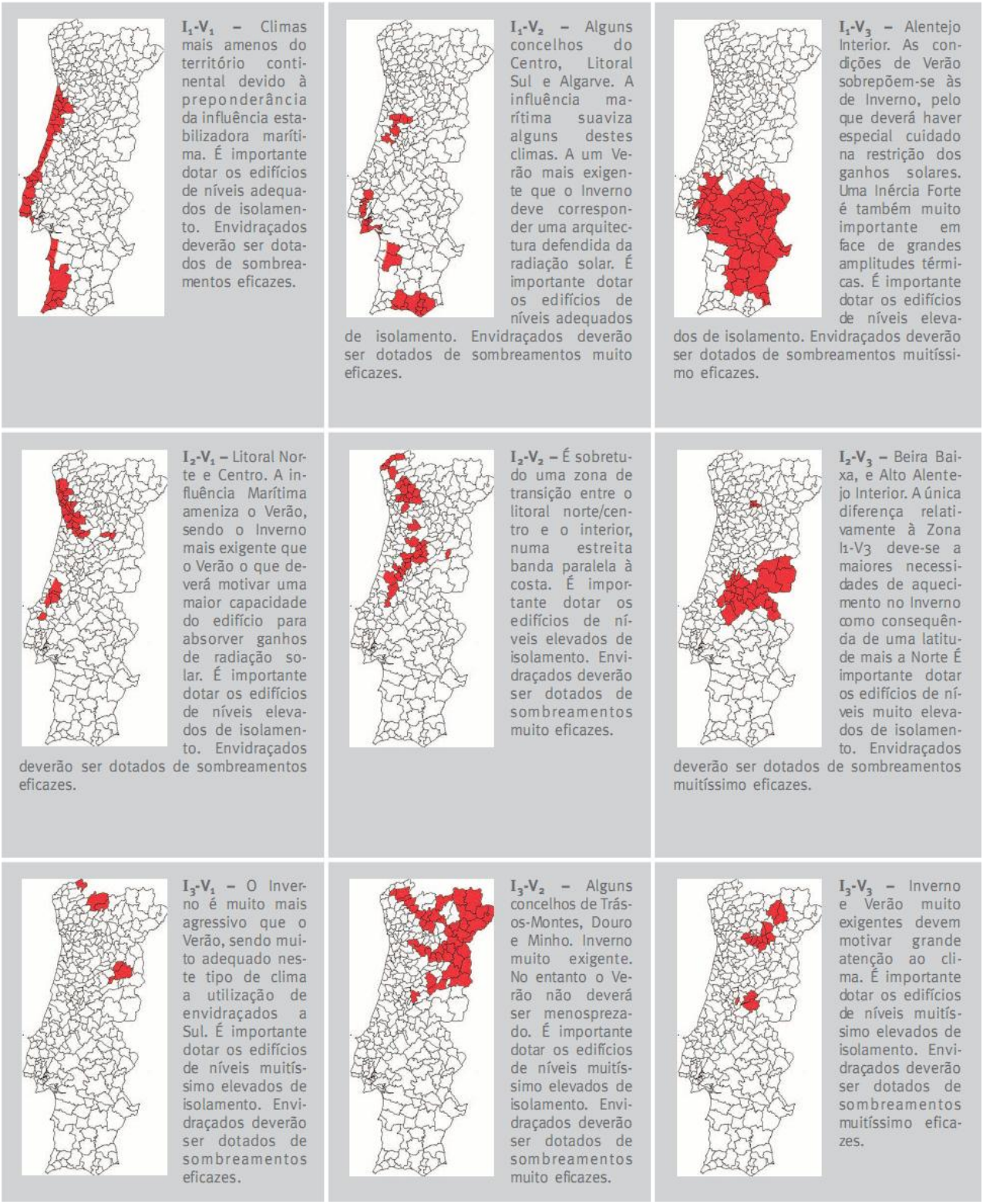


Figura A.2 – Síntese das zonas climáticas de Portugal [45]

Tabela A.1 – Normalização dos parâmetros obtidos na Tabela 25.

Solução Construtiva	Massa	PEC	PAG	D_{nT}	EP	U	CC
Parede Aref	0,80	0,44	0,70	0,13	0,00	0,30	0,94
Parede A1	0,79	0,53	0,72	0,13	0,00	0,00	0,96
Parede A2	0,87	0,53	0,74	0,00	1,00	0,79	0,97
Parede A3	0,87	0,26	0,44	0,25	0,48	0,66	1,00
Parede Bref	0,00	0,00	0,00	1,00	0,76	0,08	0,11
Parede B1	1,00	0,55	0,84	0,25	0,71	1,00	0,47
Parede B2	0,26	1,00	1,00	0,63	0,18	0,20	0,04
Parede B3	0,99	0,45	0,74	0,38	0,47	0,75	0,00

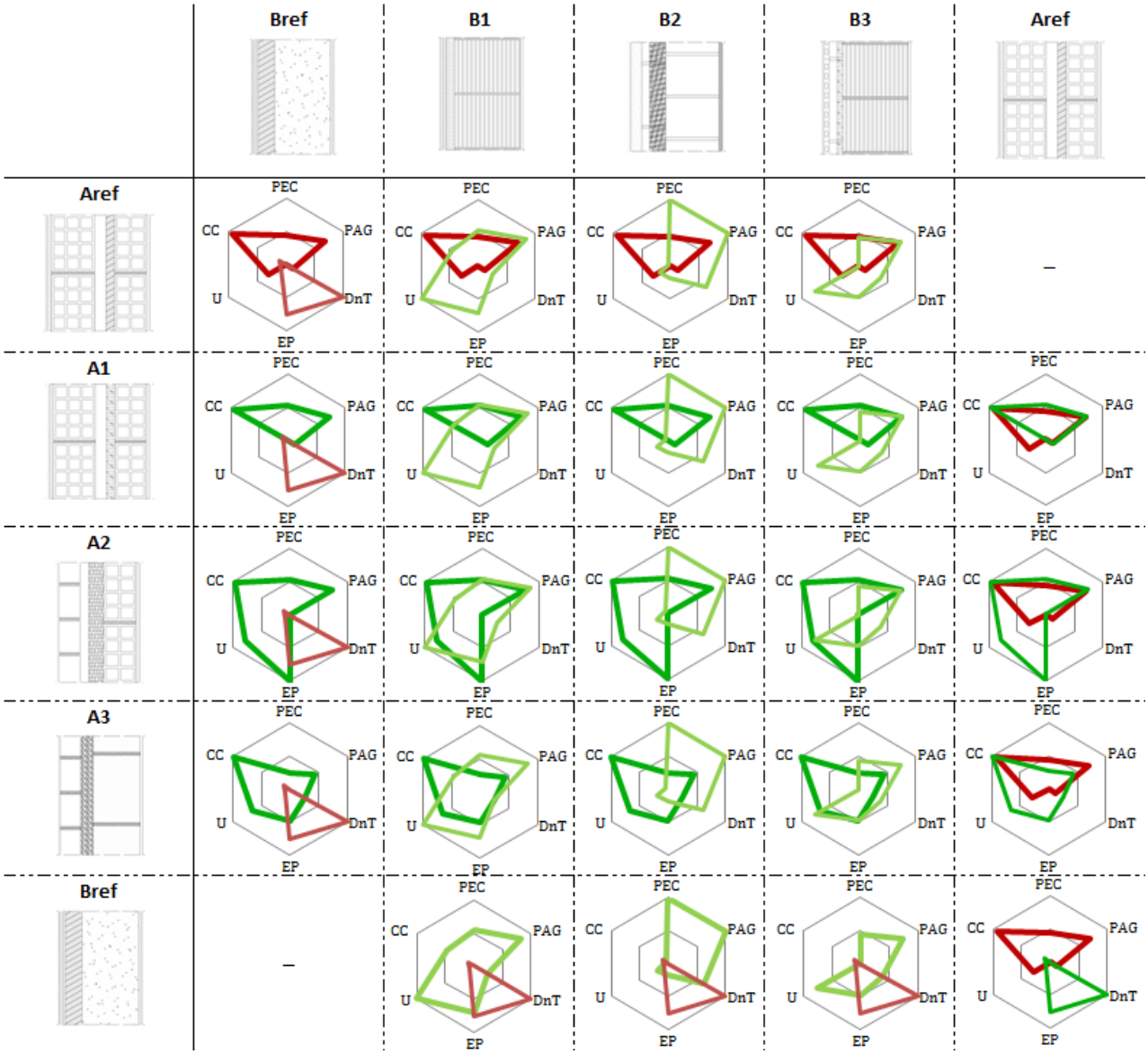


Figura A.3 – Comparação parcelar das soluções de parede.

ANEXO B – CÁLCULOS AUXILIARES DA MARS-SC

Tabela B.1 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede Aref

PAREDE Aref || alvenaria dupla de tijolo furado (15+11cm) com XPS preenchendo parcialmente a caixa de ar (3cm)

	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
tijolo cerâmico 15	0,150	–	122,50	3,00	367,50	0,22	26,95	–	0,39	
tijolo cerâmico 11	0,110	–	96,30	3,00	288,90	0,22	21,19	–	0,27	37,87
caixa de ar	0,040	–	–	–	–	–	–	–	0,18	
arg. de assentamento	–	1600	64,00	1,09	69,76	0,14	9,15	–	–	
arg.de revestimento	0,030	1600	48,00	1,09	52,32	0,14	6,86	0,800	0,04	31,30
isolamento térmico XPS	0,030	40	1,20	88,60	106,32	2,50	3,00	0,037	0,81	11,14
	0,36		**332,00**		**884,80**		**67,15**			**80,31**

R_{si}= 0,12

R_{se}= 0,04

Rsi+∑Rj+Rse= 1,85

U= 0,54 $W/m^2\,°C$

isolamentos a sons aéreos $D_{nT}\approx$ **48**

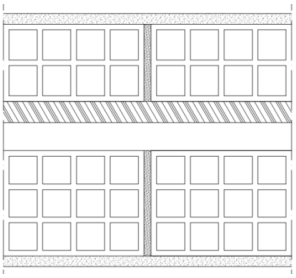
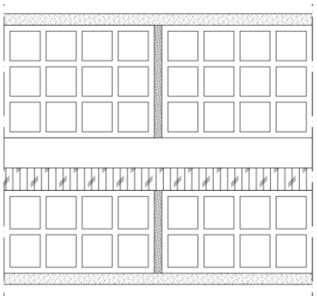


Tabela B.2 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede A1

PAREDE A1 || alvenaria dupla de tijolo furado (15+11cm) com aglomerado de cortiça preenchendo parcialmente a caixa de ar (3cm)



	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
tijolo cerâmico 15	0,150	—	122,50	3,00	367,50	0,22	26,95	—	0,39	
tijolo cerâmico 11	0,110	—	96,30	3,00	288,90	0,22	21,19	—	0,27	37,87
caixa de ar	0,040	—	—	—	—	—	—	—	0,18	
arg. de assentamento	—	1600	64,00	1,09	69,76	0,14	9,15	—	—	
arg. de revestimento	0,030	1600	48,00	1,09	52,32	0,14	6,86	0,800	0,04	31,30
isolamento - agl. cortiça	0,030	140	4,20	4,00	16,80	0,19	0,80	0,040	0,75	9,51
	0,36		**335,00**		**795,28**		**64,95**			**78,68**

isolamentos a sons aéreos D_{nT}≈ **48**

R_{si} = 0,12

R_{se} = 0,04

$Rsi+\sum Rj+Rse$ = 1,79

U= **0,56** *W/m² °C*

Tabela B.3 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede A2.

PAREDE A2 || alvenaria dupla de tijolo (7cm maciço +11cm furado) com painéis de cânhamo (5cm espessura) preenchendo parcialmente a caixa de ar

	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
tijolo maciço 7	0,070	–	140,00	3,00	420,00	0,22	30,80	–	0,08	
tijolo cerâmico 11	0,110	–	96,30	3,00	288,90	0,22	21,19	–	0,27	53,05
caixa de ar	0,030	–	–	–	–	–	–	–	0,18	
arg. de assentamento	–	1600	48,00	1,09	52,32	0,14	6,86	–	–	
arg. de revestimento	0,015	1600	24,00	1,09	26,16	0,14	3,43	0,800	0,02	15,02
isolamento cânhamo	0,050	42	2,10	4,32	9,07	0,19	0,40	0,040	1,25	9,33
	0,28		**310,40**		**796,45**		**62,68**			**77,40**

R_{si}= 0,12

R_{se}= 0,04

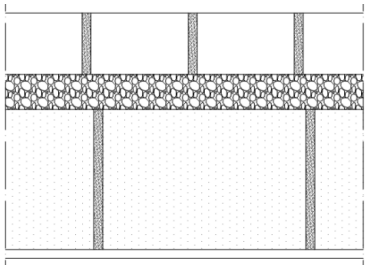
Rsi+∑Rj+Rse= 1,96

U= 0,51 $W/m^2\,°C$

isolamentos a sons aéreos $D_{nT} \approx$ **47**

Tabela B.4 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede A3.

PAREDE A3 || alvenaria dupla de tijolo maciço (7cm) e blocos de AAC (20cm) com argila expandida preenchendo totalmente a caixa de ar (4cm)



	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
tijolo maciço 7	0,070	—	140,00	3,00	420,00	0,22	30,80	—	0,08	
blocos AAC	0,200	650	130,00	3,50	455,00	0,38	48,75	0,160	1,25	55,46
argamassa de assentamento	—	1600	16,00	1,09	17,44	0,14	2,29	—	—	
placas gesso laminado	0,010	—	11,80	6,75	79,65	0,38	4,48	0,250	0,04	15,31
argila expandida (8-16mm)	0,040	300	12,00	7,20	86,40	0,52	6,24	0,100	0,40	3,90
	0,32		**309,80**		**1058,49**		**92,56**			**74,67**

isolamentos a sons aéreos $D_{nT}\approx$ **49**

R_{si}= 0,12

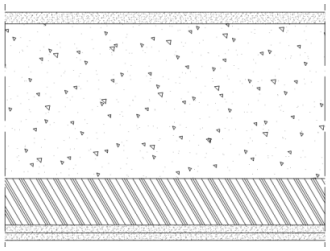
R_{se}= 0,04

$Rsi+\sum Rj+Rse$= 1,93

U= **0,52** $W/m^2\,°C$

Tabela B.5 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede Bref.

PAREDE Bref || parede em betão armado com isolamento pelo exterior em placas EPS (6cm) e revestimento em argamassa com malha de fibra de vidro



	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	Kg/m^3	Kg/m^2	*MJ/kg*	MJ/m^2	$kgCO_2/kg$	$kgCO_2/m^2$	*W/m °C*	m^2 °C/W	$€/m^2$
suporte - betão armado	0,200	2600	520,00	2,21	1149,20	0,24	125,32	2,000	0,10	95,69
isolamento - EPS	0,060	18	1,08	88,60	95,69	2,50	2,70	0,040	1,50	59,72
revest. - reboco armado	0,035	1600	56,00	1,09	61,04	0,14	7,84	0,800	0,04	
	0,30		**577,08**		**1305,93**		**135,86**			**155,41**

R_{si}= 0,12

R_{se}= 0,04

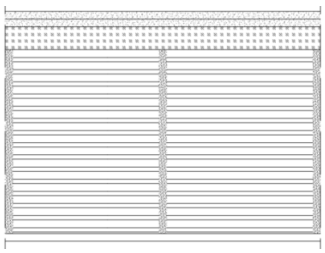
Rsi+∑Rj+Rse= 1,80

índice de isolamentos a sons aéreos $D_{nT}\approx$ **55**

U= **0,55** W/m^2 °C

Tabela B.6 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede B1.

PAREDE B1 || parede em tijolo térmico (24cm) com isolamento pelo exterior (painéis de vidro celular - 3cm) com reboco armado com fibra de vidro



	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
suporte - tijolo térmico	0,240	860	206,40	3,00	619,20	0,22	45,41	—	1,07	37,55
arg. de assentamento	—	1600	16,00	1,09	17,44	0,14	2,29	—	—	
estuque de gesso	0,010	—	11,80	1,08	12,74	0,12	1,42	0,250	0,04	15,31
isolamento - vidro celular	0,030	120	3,60	27,00	97,20	0,00	0,00	0,042	0,71	69,94
revest. - reboco armado	0,020	1600	32,00	1,09	34,88	0,14	4,48	0,800	0,03	
	0,30		**269,80**		**781,46**		**53,59**			**122,80**

índice de isolamentos a sons aéreos $D_{nT} \approx$ **49**

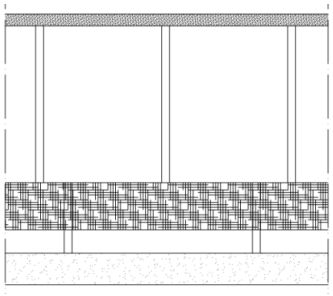
R_{si}= 0,12
R_{se}= 0,04
Rsi+∑Rj+Rse= 2,01

U= **0,50** *W/m² °C*

Tabela B.7 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede B2.

PAREDE B2 || fachada ventilada c/ est. adobe e placas de lã mineral (3cm); revest. exterior em placas de pedra natural fixas c/ grampos de aço inoxidável

	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
suporte - est. em adobe	0,200	1800	360,00	0,08	30,24	0,01	2,88	1,100	0,18	—
isolamento - lã mineral	0,060	100	6,00	16,80	100,80	1,05	6,30	0,042	1,43	13,49
arg. de revestimento	0,015	1600	24,00	1,09	26,16	0,14	3,43	0,800	0,02	15,02
estrutura fixação	0,030	—	2,00	56,70	113,40	2,82	5,64	—	—	132,99
revest - pedra natural	0,040	2600	104,00	0,75	78,00	0,19	19,24	1,040	0,04	
	0,35		**496,00**		**348,60**		**37,49**			**161,50**



índice de isolamentos a sons aéreos $D_{nT} \approx$ **52**

R_{si}= 0,12

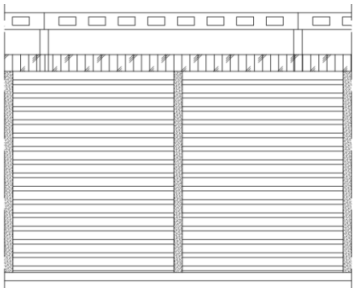
R_{se}= 0,04

Rsi+∑Rj+Rse= 1,83

U= **0,55** $W/m^2\,°C$

Tabela B.8 – Cálculos parciais relativos à solução de Parede B3.

PAREDE B3 || fachada ventilada c/ est. blocos de AAC e isolamento pelo exterior de ICB (2cm); revest. ext. de placas cerâmicas c/ grampos de aço inox.



	espessura	massa		PEC		PAG		λ	R	custo
	m	*Kg/m³*	*Kg/m²*	*MJ/kg*	*MJ/m²*	*kgCO₂/kg*	*kgCO₂/m²*	*W/m °C*	*m² °C/W*	*€/m²*
suporte - tijolo furação verti	0,240	860	206,40	3,00	619,20	0,22	45,41	—	1,07	37,55
argamassa de assentament	—	1600	16,00	1,09	17,44	0,14	2,29	—	—	
estuque de gesso	0,010	—	11,80	1,08	12,74	0,12	1,42	0,250	0,04	15,31
isolamento - cortiça	0,020	140	2,80	4,00	11,20	0,19	0,53	0,040	0,50	9,51
estrutura fixação (caixa de a	0,030	—	2,00	56,70	113,40	2,82	5,64	—	—	102,62
revestimento cerâmico	0,020	—	35,00	3,00	105,00	0,22	7,70	—	0,18	
	0,32		**274,00**		**878,98**		**62,98**			**164,99**

índice de isolamentos a sons aéreos $D_{nT}\approx$ **50**

$R_{si}=$ 0,12

$R_{se}=$ 0,04

$Rsi+\sum Rj+Rse=$ 1,95

U= **0,51** $W/m^2\,°C$